

Aus dem Institut für Tierproduktion
der Technischen Universität Berlin
(Geschf. Direktor: Prof. Dr. J. H. Weniger)

Der Einfluß von Wärmebelastung auf die Thermo- regulation laktierender Kühe

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines
DOKTORS DER VETERINÄRMEDIZIN
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Eugene Harper Johnson Jr.
aus New York, U.S.A.

Berlin 1977
Journal Nr. 910

Aus dem Institut für Tierproduktion
der Technischen Universität Berlin
(Geschf. Direktor: Prof. Dr. J. H. Weniger)

Der Einfluß von Wärmebelastung auf die Thermo- regulation laktierender Kühe

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines
DOKTORS DER VETERINÄRMEDIZIN
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Eugene Harper Johnson Jr.
aus New York, U.S.A.

Berlin 1977
Journal Nr. 910

Gedruckt mit Genehmigung
des Fachbereiches Veterinärmedizin

Vorsitzender des FBR:		Prof. Dr. H.-H. Frey
Referent	:	Prof. Dr. H. Krzywanek
Korreferent	:	Prof. Dr. J.-H. Weniger

Tag der Promotion : 12. August 1977



DEDICATED TO MY PARENTS

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Literaturüberblick zur Frage der Wärmebelastung und Thermoregulation beim Rind	1
1.1 Homöostase und Thermoregulation	1
1.2 Ausgewählte thermoregulatorische Reaktionen	3
1.2.1 Die Körpertemperatur	3
1.2.2 Die Hauttemperatur	9
1.2.3 Die Atemfrequenz	13
1.2.4 Die Herzfrequenz	16
2. Fragestellung	18
3. Material und Methode	20
3.1 Tiermaterial	20
3.2 Technische Einrichtungen und Datenerfassung	21
3.3 Versuchsbedingungen und Meßzeitplan	24
3.4 Statistische Auswertung	25
4. Versuchsergebnisse	27
4.1 Die Körpertemperatur	27
4.2 Die Hauttemperatur	32
4.3 Die Atemfrequenz	34
4.4 Die Herzfrequenz	37
4.5 Liegezeiten	41
4.6 Wasseraufnahme und Trinkhäufigkeit	43
4.7 Futteraufnahme und Milchleistung	48
4.8 Zusätzlich beobachtete verhaltensbedingte Reaktionen	50
4.9 Ergebnisse der Varianzanalyse und Korrelationen zwischen den untersuchten Parametern	52
5. Diskussion	58
6. Zusammenfassung	68
7. Summary	71
8. Literaturverzeichnis	75

1. Literaturüberblick zur Frage der Wärmebelastung und Thermoregulation beim Rind

1.1 Homöostase und Thermoregulation

"La Fixité du milieu intérieur est la condition de la vie libre". Diesem Satz Claude Bernards (1865) kann heute wohl ebenso viel Bedeutung zugemessen werden, wie bereits zu seiner Zeit. Diese Idee stand am Anfang der Entwicklung des wissenschaftlichen Begriffes der Homöostase durch den bekannten Physiologen Walter B. Cannon (1939) und ist heute noch gültig auf dem Gebiet dieses noch immer nicht vollkommen erforschten Wissenschaftsbereiches.

"Der Begriff der Homöostase umfaßt all die Mechanismen eines lebenden Organismus, die für die Aufrechterhaltung und Kontrolle ihres inneren Milieus verantwortlich sind" (Langley 1966). Diese Auffassung wurde in Zusammenhang gebracht mit dem Begriff des "negativen feedback", d.h., daß, wenn es eine Änderung in die eine Richtung gibt, es auch eine solche Reaktion in die jeweils entgegengesetzte geben muß. Trifft nun ein Störfaktor auf dieses Gleichgewicht des Körpers, werden daraus einige von den Sollwerten abweichende Parameter resultieren, die von dem jeweils zuständigen Fühler dieses Systems aufgenommen, als Störung registriert und weitergeleitet werden. Diese Feedbackinformation (Istwert) wird mit dem Sollwert verglichen. Der Unterschied zwischen dem Ist- und dem Sollwert wird als Regelgröße (error signal) bezeichnet. Diese Regelgröße ist diejenige Größe, die das Ausmaß der Korrektur des Kontrollsystems bestimmt. Sie gibt den Be-

fehl an einige Kontrollelemente, den Sollwert wiederherzustellen. Diese Kontrollaktionen eines geschlossenen Systems wirken der jeweiligen Störung entgegen (Mitchell 1972).

Wird ein Tier nun von einer Störung, z.B. einer Temperaturbelastung, bedroht, so wird es seine Fähigkeit, solchen Störungen zu begegnen, einsetzen. Dieser Vorgang kann sowohl eine autonom physiologische Reaktion sein oder aber eine verhaltensbedingte Reaktion des Tieres, dem Hitzeeinfluß zu entweichen. Die Vollkommenheit dieses Kontrollsystems bestimmt die Fähigkeit eines Tieres, die Körpertemperatur unter den verschiedensten klimatischen Bedingungen regulieren zu können.

Das Ziel dieser Arbeit ist nicht, in den äußerst komplexen Bereich der Homöostase einzudringen. Die Wichtigkeit dieses Begriffes sollte aber nicht außer Acht gelassen werden, da die physiologischen Reaktionen der Tiere im Grunde genommen auf die Erhaltung eines "steady state" hinzielen. So ist die Untersuchung von laktierenden Kühen unter Bedingungen, die kaum mit ihren optimalen Produktionsbedingungen übereinstimmen, durchaus eine Forderung an ihre homöostatischen Mechanismen.

1.2 Ausgewählte thermoregulatorische Reaktionen

1.2.1 Die Körpertemperatur

Ein ausgeglichener Wärmehaushalt (steady state) kann nur bestehen, wenn die Nettowerte von Wärmegewinn und Wärmeverlust im Gleichgewicht zueinander stehen. Ein "steady state" im eigentlichen Sinne des Wortes wird jedoch nur selten erreicht. Sogar unter kurzzeitigen standardisierten Bedingungen zeigt sich ein Überschuß an Wärmeverlust oder Wärmeproduktion (Ingram et al. 1975). Hitzetoleranz im weitesten Sinne des Wortes ist definiert worden als die Fähigkeit des Körpers, starken Temperaturschwankungen ohne Schaden für den Organismus standzuhalten (Bianca 1963). Der bedeutendste Schaden für ein homöothermes Tier, das Hitze ausgesetzt wurde, ist eine Entgleisung seiner normalen physiologischen Körpertemperatur. Bianca fährt fort mit der Feststellung, daß Hitzetoleranz im engen Sinne definiert werden kann als die Fähigkeit, die normale Körpertemperatur auch unter Wärmebelastung aufrechtzuerhalten.

Es gibt verschiedene Meinungen darüber, welche Körperstellen die repräsentativsten und zuverlässigsten Ergebnisse für die Messung der Körpertemperatur liefern. Ein Vergleich zwischen Rektal- und Vaginaltemperaturen bei nicht laktierenden Kühen stellte Kriss (1921) auf. Dabei fand er höhere Rektaltemperaturen, wogegen in heutigen Versuchen das Gegenteil, nämlich höhere Vaginaltemperaturen festgestellt werden.

Bligh (1955) maß höhere Rektaltemperaturen als in der A.carotis. Die Unterschiede verhielten sich konstant und wurden bei sehr hohen Umgebungstemperaturen einander gleich.

Bligh fand (1966), daß die beste Methode für die Messung der Körperinnentemperatur die in der Aorta sei. Die Temperatur des Aortablutes ist als repräsentativ für die Bluttemperatur aller Körperregionen zu betrachten. Für praktische Zwecke wird jedoch die Körpertemperatur beim Rind entweder rektal oder vaginal gemessen. Beim Vergleich zwischen Rektal- und anderen Körperinnentemperaturen ist festgestellt worden, daß, obwohl Temperaturunterschiede zwischen den zentralen Blutgefäßen bestehen, die Rektaltemperatur trotzdem als "repräsentativer Index" für die Körperinnentemperatur angesehen werden kann (Horvath et al.1950, Eichna et al.1951).

Diurnale Temperaturschwankungen wurden von Gaalaas (1945), Wrenn et al.(1961) und Moran (1970) festgestellt.

Berman (1971) wies darauf hin, daß diese Zyklen entweder eine begrenzte Fähigkeit zur Aufrechterhaltung des homöothermischen Gleichgewichts oder einen Versuch der Ökonomisierung der Thermoregulation darstellen könnten. Der Autor befürwortet eine Weiterführung solcher Studien, um Klarheit über die Mechanismen zu gewinnen, die diesen Zyklen zugrunde liegen, so daß festgestellt werden kann, ob diese Thermolabilität toleriert werden kann, oder ob es als ein Zeichen einer unzureichenden Kompensation anzusehen ist.

Erwachsene Rinder zeigen unterschiedliche Körperinnentemperaturen bei wechselnden Umwelttemperaturen. So fanden Beakley et al.(1955), daß ein Anstieg der Rektal-

temperatur mit dem Zeitpunkt des Einsetzens der Wärmebelastung zu verzeichnen war und daß die Rektaltemperatur nach einigen Stunden die Tendenz zeigte, konstant zu bleiben. Auch Bianca (1963) berichtete von ansteigenden Rektaltemperaturen bei zunehmenden Umgebungstemperaturen. Er stellte fest, daß unter starker Wärmebelastung die Rektaltemperatur fast linear mit der Dauer des Hitzeeinflusses anstieg. Zahlreiche andere Autoren beschrieben ebenfalls einen Anstieg der Körpertemperatur von Rindern, die Wärmebelastungen ausgesetzt waren (Hales 1969, McDowell et al. 1969, Herz 1972, Martz et al. 1971, Alvarez et al. 1970, Kamal et al. 1970, Colditz et al. 1972, Kellaway et al. 1975).

Laktierende Jersey Rinder, die der Sonne ausgesetzt waren, hatten bei hohen Lufttemperaturen einen Anstieg der Körpertemperatur von 0.4°C zu verzeichnen. Im Gegensatz dazu zeigten die gleichen Kühe, wenn sie im Schatten gehalten wurden, aber bei gleich hoher Lufttemperatur, keinen Anstieg der Körpertemperatur (Gaalaas 1945).

Akklimatisation an hohe Lufttemperaturen kann sowohl die Ausgangswerte der Körpertemperatur beeinflussen als auch die Anstiegsrate derselben oder sogar beide, wie Bianca (1959) feststellte. Im gleichen Jahr ergaben Biancas Versuche mit Kälbern, daß nach einer 21-tägigen Belastung der Tiere durch hohe trockene Hitze und zum anderen durch hohe feuchte Hitze ein Abfall der Rektaltemperatur verzeichnet werden konnte. Die Folge davon war ein merklicher Anstieg der Hitzetoleranzzeit, insbesondere der Zeit, in der die Tiere der Wärmebelastung standzuhalten vermochten, bevor dann ihre Rektaltemperaturen auf 42°C anstiegen.

Er vermutete daher, daß ein Abfall der metabolischen Wärmeproduktion eine wesentliche Rolle bei dem von ihm beobachteten Akklimatisationsphänomen spielte.

Schein et al.(1957) stellten fest, daß bei einem Hitzetoleranzvergleich zwischen Jerseykühen und Red Sindhi-Jerseykreuzungen die Fl der letzteren, laktierend oder auch nicht, sich als weniger wärmeempfindlich erwiesen als die Jerseykühe unter vergleichbaren Verhältnissen. In Anlehnung daran wurde von den gleichen Autoren festgestellt, daß ein hoher Produktionsstandard mit einer hohen Wärmeproduktion verbunden ist, was wiederum einen negativen Einfluß auf die Hitzetoleranz hat.

Im Zusammenhang mit dem Endanstieg der Körpertemperatur ist der Ausgangswert der Rektaltemperatur als initiales Zeichen für Hitzetoleranz und Homöothermie eines Tieres von großer Bedeutung.

Bei Temperaturmessung an Kälbern kam Kibler (zitiert von Bianca 1959) zu dem Ergebnis, daß bei Brahmarkälbern die Werte für die Körpertemperatur viel niedriger lagen als bei Shorthornkälbern. Hutchinson (1962) beobachtete, daß die Rektaltemperaturen bei Afrikanischen Zebus während der heißen Jahreszeit leicht niedriger lagen als während der kalten.

Weiterhin machte Bianca (1959) die Akklimatisation an hohe Lufttemperaturen für eine Depression der Ausgangswerte der Rektaltemperatur von Kälbern verantwortlich. Diese Beispiele lassen die Vermutung aufkommen, daß eine niedrige Rektaltemperatur das Ergebnis einer genetischen Adaptation oder auch einer Akklimatisation an hohe Umwelt-

temperaturen sein kann. Da die Brahmannkälber in der Untersuchung Kiblers nicht nur niedrigere Wärmeproduktionswerte als die Shorthornkälber aufzuweisen hatten, sondern auch niedrigere Rektaltemperaturen, und da bei beiden Rassen die Körpertemperatur und Wärmeproduktion die Tendenz zeigten, bis zu einem Alter von einem Jahr parallel anzusteigen, besteht Anlaß zu der Annahme, daß eine niedrige "normale" Körpertemperatur sowohl eines Individuums als auch innerhalb einer Rasse genetisch oder durch Akklimatisation an hohe Umwelttemperaturen bedingt, als Zeichen einer niedrigen Wärmeproduktion angesehen werden kann. Mit anderen Worten heißt das, daß ein Anstieg der Körpertemperatur umso gefährlicher ist, je höher die Körpertemperatur war, von der dieser Anstieg seinen Ausgang nimmt. Eine niedrige Körpertemperatur zu Beginn einer Wärmebelastungsperiode bedeutet auch einen niedrigen "starting point", d.h. dem Tier wird damit ein größerer Spielraum für den folgenden Anstieg gegeben (Bianca 1963).

Obwohl nun unter kontinuierlicher Wärmebelastung niedrige Ausgangswerte für die Körpertemperatur nicht vor einer letzten Endes folgenden Hyperthermie schützen, so wird doch die Zeit hinausgezögert, die einen solchen Zustand erreicht läßt (Bianca 1965). In heißen Klimazonen mit einem starken diurnalen Temperaturrehythmus könnte ein Tier auf diese Weise für einige Stunden mit hoher Lufttemperatur, wie z.B. am frühen Nachmittag, einer Hyperthermie entgehen.

Im Gegensatz zu Biancas Feststellungen, berichteten Berman und Kibler(1959) und Berman (1971) nach Versuchen mit Färsen, die bei einer konstanten Temperatur von 32°C gehalten wurden, daß nach einer Wärmebelastung die Körper

temperatur auf einem hohen Niveau verweilte. Dieses blieben jedoch nur Vermutungen, da eine statistische Absicherung nicht unternommen wurde. Die gleichen Autoren wiesen darauf hin, daß sich die Rektaltemperatur bei nycthemeralen Zyklen (24-Stunden-Zyklus) der Umwelttemperatur dementsprechend anders verhalten könnte.

1.2.2 Die Hauttemperatur

Die Haut stellt sowohl die anatomische Grenze als auch das bedeutendste Organ für die Kommunikation zwischen Tier und Umwelt dar. Sie ist außerdem das größte Organ des Körpers, zusammengesetzt aus mehreren Suborganen, von denen jedes für sich seinen ihm eigenen Lebens - zyklus innehat. Insbesondere bei den homöothermen Lebewesen, bei denen die Stoffwechselvorgänge bei konstanten Körperkerntemperaturen am ungestörtesten ablaufen, bewirkt die Haut mit Haaren, Blutgefäßversorgung, Schweißdrüsen und ihren sonstigen anatomischen und physiologischen Einrichtungen einen Großteil der lebenswichtigen Temperaturregulation. Ihre Dicke und der histologische Aufbau, die Vergrößerung der Körperoberfläche durch Hautfaltenbildung, Farbe, Dichte und Aufbau der Haare, sowie gegebenenfalls die Dauerpigmentierung der äußeren Hautschichten sind anatomische Gegebenheiten. Die Stellung der Haare zur Hautoberfläche und der dadurch bewirkte Lufteinschluß, die passive Wasserverdunstung (*perspiratio insensibilis*), die aktive Produktion von Schweiß und dessen Verdunstung (*perspiratio sensibilis*) stellen physiologische Maßnahmen dar, mit denen ein Großteil der Abgabe des Wärmeüberschusses vom (wärmeren) Körper zur (kühleren) Umgebung gesteuert und nötigenfalls eine exogene Wärmeaufnahme von einer wärmeren Umgebung zum kühleren Körper hin vermindert werden können (Stephan et al. 1970).

Die Hauttemperatur stellt ein Gleichgewicht dar, welches als Folge eines Zusammenspiels zwischen der Wärmekonvektion an der Hautoberfläche und der Wirkung der Lufttempe-

ratur auf den Wärmetransport von der Hautoberfläche zu verstehen ist (McLean 1974).

Wenn als Folge von steigenden Umgebungstemperaturen die Hauttemperatur aktiv über die Umgebungstemperatur hinaus steigt, führt die daraus resultierende Zunahme des Wärmeverlustes zu einer entsprechenden Kühlung. Die daraus resultierende Hauttemperatur ist abhängig von der Wärmeverlustrate und von dem Ausmaß, in dem das warme Blut des Kerns die Haut erreicht. Die Wärmeverlustrate ist sowohl abhängig von Schwitzen als auch vom Austausch durch Strahlung und Konvektion (Ingram et al. 1975).

Wärmeverlust bei niedrigen Umwelttemperaturen findet als Folge der Verdunstung bei passiver Diffusion statt. Der Anteil dieses durch Verdunstung der Haut bedingten Wärmeverlustes ist mehr als fünfmal so groß wie die durch Atmung bedingte Kühlung (Yeck et al. 1959). Bei Temperaturen über 20°C erreicht die Verdunstungsrate ein Niveau, das durch physikalische Diffusion nicht mehr zu erklären ist (McLean 1963, Pan et al. 1969). Ein weiterer Wärmeverlust kann von diesem Punkt an nur durch aktive Diffusion bzw. Schwitzen erreicht werden.

Die Fähigkeit des Schwitzens beim Rind ist eingehend untersucht worden (Findlay et al. 1950, 1960, Fergusson et al. 1958, Taneja et al. 1958, 1959, 1960, Allen 1962, Ingram et al. 1963, Schleger et al. 1965, Robertshaw et al. 1969, Robertshaw 1971, Pan et al. 1969, Amakiri 1974, 1975), und es wird angenommen, daß der Hauptanteil des Feuchtigkeitsverlustes den Schweißdrüsen zukommt und nur mit einer kleinen Beteiligung der Talgdrüsen zu rechnen ist (Findlay et al. 1965, McDowell et al. 1954, Volcani et al. 1954, Kibler

et al. 1959, Chowdhury et al. 1961, Dowling 1958, McDowell 1958, Berman 1957).

Fergusson et al. (1958) und Taneja (1959) erhielten Schweißabdrücke bei Rindern, die Wärmebelastung ausgesetzt wurden, deren Abdruckmuster mit der Verteilung der Schweißdrüsen übereinstimmten.

Taneja (1960) stellte einen Zusammenhang zwischen örtlichen Unterschieden in der Schwitzrate und der Anzahl der Schweißdrüsen fest. McLean (1963) war der Meinung, daß diese Unterschiede nicht mit einer Zunahme der Zahl der Schweißdrüsen zusammenhingen, sondern eher als Zunahme der funktionellen Kapazität aufzufassen waren.

Es wird angenommen, daß die Schweißdrüsen durch eine Reizung der Hautrezeptoren aktiviert werden können. Diese Annahme wurde (1971) von Whittow bestätigt, der bei hohen Umgebungstemperaturen Schwitzen beobachtete, obwohl die Hypothalamustemperatur nicht erhöht war. Eine lokale Erwärmung des Hypothalamus bewirkt ebenfalls eine beträchtliche Zunahme der Schwitzrate beim Rind (Ingram et al. 1963).

Die Hauttemperatur der Extremitäten des Rindes scheint eine bedeutende Rolle bei thermoregulatorischen Vorgängen zu spielen. So wurden große Schwankungen der Hauttemperatur an den Extremitäten bei Umgebungstemperaturen bis zu 25°C von Whittow festgestellt (1962). Dieses war nicht der Fall bei den Temperaturen des Thorax und des Abdomens. Es erscheint gerechtfertigt daraus zu schließen,

daß Veränderungen der Hauttemperatur an den Extremitäten bei der Thermoregulation eine bedeutende Rolle spielen. Die oben angeführten Ergebnisse sind bei höheren Lufttemperaturen nicht mehr zutreffend. Hier zeigen sich dann mehr oder weniger parallel variierende Extremitäten-, Thorax- und Abdomentemperaturen. Dieses ist als Folge einer hohen Blutzufuhr rate zu verstehen, die eher in einem Wärmegewinn als in einem Wärmeverlust des Tieres resultiert. Dieses ist besonders der Fall bei den Extremitäten, die sich dank ihrer relativ großen Oberfläche schnell erwärmen können (Ingram et al. 1962).

Bei Fütterung und bei lokaler Erwärmung der Tiere kommt es zu einer Erhöhung der Hauttemperatur (Ingram et al. 1962, Whittow 1962). Auch dies ist ebenfalls ein Hinweis darauf, daß die Haut der thermoregulatorischen Funktion dient.

1.2.3 Die Atemfrequenz

Die Atemfrequenz antwortet unverzüglich auf plötzliche Veränderungen der Umgebungstemperatur und ist wahrscheinlich die erste Reaktion des Tieres als Schutz gegenüber Temperaturen von über 20°C (Beakley et al.1955).

Wird das Rind mittlerer Wärme ausgesetzt, nimmt die Atemfrequenz beträchtlich zu, während das Atemvolumen parallel dazu abnimmt (Findlay et al., Bianca et al.1962). Die Zunahme der Belüftung der Lungenoberfläche ist lediglich auf deren Totraum beschränkt (Ingram et al.1975). Dieses stimmt überein mit den Ergebnissen von Findlay und Whittow (1966), die keine Veränderungen der Sauerstoff- und Kohlendioxidspannung des arteriellen Blutes unter solchen Bedingungen fanden. Die Folge der Zunahme der Atemfrequenz ist eine vermehrte atmungsbedingte Verdunstung und Kühlung. Der Anteil der respiratorischen Verdunstung an der Gesamtverdunstung ist wesentlich kleiner als diejenige der Haut unter extremen Bedingungen. Sie beträgt ein Sechstel bis ein Fünftel des gesamten Wasserverlustes (Bianca 1966). Dieses läßt vermuten, daß die Atmung keinen entscheidenden Faktor bei der Kontrolle der Körpertemperatur unter Wärmebelastung darstellt.

Eine hohe Atemfrequenz ist ein Maß für einen Mangel an der quantitativ wichtigeren Verdunstungsrate der Haut (Bianca 1965). 1962 zeigte Bianca bei Kälbern eine Beziehung zwischen Atemfrequenz und Rektaltemperatur, die sich umgekehrt proportional zur Hitzetoleranz verhielt.

Ist die Umgebungstemperatur hoch genug, so wird die Körpertemperatur ansteigen und die Atemfrequenz wird kontinuierlich steigen, bis sie ein Maximum erreicht, welches beim Rind bei einer Körpertemperatur von ca. $40,5^{\circ}\text{C}$ liegt (Findlay 1957, Bianca et al. 1962, Findlay et al. 1966). Bei noch höheren Lufttemperaturen entwickelt sich eine respiratorische Alkalosis und die chemische Kontrolle des respiratorischen Systems bricht zusammen (Hales 1969, Ingram et al. 1975). Dieser Effekt wird offensichtlich zu Beginn der zweiten Atmungsphase erreicht, wenn das Atemvolumen zunimmt. Zu diesem Zeitpunkt ist eine vermehrte alveoläre Ventilation zu beobachten. In den Anfangsstadien des Hechelns, d.h. in der ersten Atmungsphase sind der pCO_2 und der pH-Wert kaum verändert. Mit dem Anstieg der Körpertemperatur und dem Beginn einer langsameren tieferen Atmung fällt jedoch der pCO_2 stetig bis zu 10 mm Hg und der pH-Wert kann über 7,8 steigen (Hales et al. 1968, Bianca et al. 1962).

Es ist bekannt geworden, daß mehrere Reizzentren für die Kontrolle des Hechelns verantwortlich sind. Allein das Erwärmen der Haut ohne jegliches Ansteigen der Körperinnentemperatur, reicht aus, um eine thermale Polyphoea hervorzurufen (Bligh 1957, Findlay et al. 1961). Lokales Erwärmen der präoptischen Region des Hypothalamus ist stets begleitet von einem Anstieg der Atemfrequenz bei hechelnden Tieren (Anderson et al. 1956, Anderson et al. 1964, Findlay et al. 1961, Ingram et al. 1962, Stewart et al. 1972, Ingram et al. 1961, Findlay et al. 1969). Die Umgebungstemperaturen, bei denen diese lokale Erwärmung durchgeführt wird, verändert das Reaktions-

ergebnis. Das Ausmaß der Zunahme der Atemfrequenz wird bei niedrigen Umgebungstemperaturen vermindert (Ingram et al. 1962).

In Verbindung mit der präoptischen Region des Hypothalamus ist auch von einem Anstieg der Atemfrequenz nach lokaler Erwärmung des Rückenmarks berichtet worden (Hales et al. 1969). Dieser Effekt wird jedoch durch den Hypothalamus geregelt (Kosaka et al. 1969) und das Ausmaß der Veränderungen der Atemfrequenz ist abhängig von der Hauttemperatur (Ingram et al. 1971).

Nach Whittow (1971) ist das Zusammenspiel zwischen Hautrezeptoren und dem Hypothalamus von wesentlicher Bedeutung. Wird ein Tier Wärmebelastungen ausgesetzt, so nimmt seine Atemfrequenz als Antwort auf eine Reizung der Hautrezeptoren zu. Tatsächlich deutet dies darauf hin, daß Tiere mit einer hohen Schwitzrate und folgender Verdunstung und Kühlung der Haut relativ niedrige Atemfrequenzen zeigen sollten (Bligh 1957, Findlay et al. 1961). Diese Annahme wurde sowohl bei Zeburindern (Kibler et al. 1961), als auch bei Ayrshirekälbern (McLean 1963) bestätigt. Ist die Umgebungstemperatur hoch genug, wird aber die Hypothalamustemperatur steigen, was wiederum in einer weiteren Zunahme des respiratorischen Wärmeverlustes resultiert (Whittow 1971).

1.2.4 Die Herzfrequenz

Einige Autoren stellten fest, daß bei steigenden Umwelttemperaturen entweder eine Abnahme oder eine un-signifikante Reaktion der Herzfrequenz zu beobachten war. Kibler et al. (1949), Worstell et al. (1953) berichteten von einem anfänglichen Anstieg der Herzfrequenz bei Umgebungstemperaturen bis zu 24°C und von einer Abnahme mit weiter steigenden Lufttemperaturen. Ishii (1964) fand eine Abnahme der Herzfrequenz erst ab Umwelttemperaturen von 29°C. Die Bedeutung dieser Resultate ist in ihrer Aussagekraft zweifelhaft, da es schwierig zu sagen ist, ob diese Reaktionen der Herzfrequenz als Antwort auf Umgebungstemperatur, auf Schwankungen in der Futteraufnahme, auf Wärmeproduktion und/oder Laktationsstadium der Tiere zu bewerten waren.

Herz (1972) stellte in Feldversuchen mit Schwarzbunten laktierenden Rindern in Israel eine signifikante Abnahme der Herzfrequenz in den wärmeren Sommermonaten fest. Er machte eine Hämodilution für diese Abnahme verantwortlich. Eine entsprechende Blutvolumenbestimmung wurde von ihm jedoch nicht durchgeführt, so daß nicht mit Sicherheit behauptet werden kann, daß die Abnahme der Herzfrequenz in direktem Zusammenhang mit dem Blutvolumen stand.

Während der ersten Atmungsphase beobachtete Bianca (1958) nur eine geringe Zunahme der Herzfrequenz. In der zweiten Atmungsphase wurde dagegen ein steiler Anstieg der Herzfrequenz registriert. Für diese Beschleunigung der Herzfrequenz wurde ein steigender Bedarf der respiratorischen Muskulatur an Sauerstoff verantwortlich gemacht.

Andere Autoren haben von einem Anstieg der Herzfrequenz bei steigenden Umwelttemperaturen berichtet (Beakley et al.1955, Whittow 1962, Bianca et al.1962, Ingram et al.1963, Whittow 1968).

Es ist weiterhin von Bedeutung, ob die jeweils angewandte Wärmebelastung akuter oder chronischer Natur ist. Worstell et al.(1953) stellten einen Abfall der Herzfrequenz fest, wenn sich die Tiere unter lang andauernder, mäßiger Wärmebelastung befanden.

Kolb (1962) meint, daß eine Erhöhung der Herzfrequenz erst bei einem Anstieg der Umgebungstemperatur auf Werte über 38°C stattfindet, und daß bei Kälbern die Beschleunigung bereits bei Umgebungstemperaturen über 30°C erfolgt. Die Zunahme der Herzfrequenz sollte durch die Erhöhung der Körpertemperatur ausgelöst werden, die bei einem starken Anstieg der Umgebungstemperatur eintritt.

2. Fragestellung

Sowohl heute als auch in Zukunft werden europäische Rinderrassen in tropischen und subtropischen Klimazonen gehalten werden. Es darf daher nicht nur die Anpassungsfähigkeit der hiesigen Rassen berücksichtigt, sondern auch vor allem die Frage nach der Wahl besonders geeigneter Einzeltiere gestellt werden. Da die Fähigkeit der Aufrechterhaltung der Homöothermie als Voraussetzung für eine solche Anpassung angesehen werden muß, ist es von äußerster Wichtigkeit, diejenigen Tiere auszuwählen, die im Hinblick auf ihr Adaptationspotential geeignet erscheinen.

Thermoregulation im weitesten Sinne schließt eine Vielzahl physiologischer, morphologischer und verhaltensbedingter Mechanismen ein. Das gemeinsame Ziel all dieser Faktoren ist es, das homöotherme Tier in einem thermalen Gleichgewicht mit seiner Umgebung zu halten. Leben und Überleben eines Tieres in einer bestimmten Umwelt hängt von der Ausgeglichenheit dieses Systems ab und aus diesem Grunde muß jede seiner Phasen verstanden werden.

In der bis heute vorliegenden Literatur sind zahlreiche Arbeiten über thermoregulatorische Möglichkeiten von Rindern zu finden. Zu bemängeln ist jedoch, daß es allen diesen Arbeiten gemein ist, jeden gemessenen physiologischen Parameter auf die Körpertemperatur zu beziehen und dabei den Gesichtspunkt möglicher wichtiger Interaktionen zwischen den einzelnen Größen zu vernachlässigen. Die Körpertemperatur wurde auf diese Weise von vornherein als die repräsentative Größe für Hitzestreß angesehen.

Ein solches Vorgehen ohne vergleichende Untersuchungen bezüglich der anderen physiologischen Parameter ist jedoch etwas zu weit gegriffen. Eine alleinige Bewertung der Körpertemperatur als Repräsentante für Hitzestreß sollte daher von vornherein in Frage gestellt werden. Eine endgültige Antwort wäre nur durch diesbezügliche vergleichende und ergänzende Untersuchungen zu finden.

Für die eigene Arbeit erhebt sich daher die Frage, ob es überhaupt physiologische Kriterien gibt, an denen man "praktisch" Hitzestreß messen könnte und wenn ja, unter welchen Voraussetzungen und auf welche Weise? Gibt es einen oder sogar mehrere physiologische Parameter, die als repräsentativ für Hitzestreß angesehen werden könnten? Besteht eine Verbindung im Verhalten der einzelnen gemessenen Größen und welche Aussagekraft besitzen sie bezüglich eines möglichen Hitzestresses? Ergänzend stellt sich die Frage, in welchem Ausmaß chronische Temperaturbelastungen von 30°C bei niedriger konstanter Luftfeuchte unter optimalen Haltungsbedingungen einen Einfluß auf die Physiologie der Versuchstiere bezüglich ihrer thermoregulatorischen Fähigkeiten ausüben.

3. Material und Methode

3.1 Tiermaterial

Es wurden jeweils paarweise 10 Tiere der Rasse Schwarzbunt und Rotbunt untersucht, wobei ein Tierpaar, wie der Tabelle 1 zu entnehmen, einem zweimaligen Versuchsdurchgang unterzogen wurde. Vom verwendeten Tiermaterial waren die Paare 1, 2, 4 und 5 eineiige Zwillinge, während die Tiere in Paar 3 den gleichen Vater aufzuweisen hatten, die Mütter jedoch nicht verwandt waren (Halbgeschwister).

Tabelle 1: Übersicht über das verwendete Tiermaterial

Paar Name	Rasse	Geburtsdatum	Laktation	305-Tage-Leistung der vorausgegangenen Laktation
1. Eva	SB	26. 7.70	III.	4937
Evi	SB	26. 7.70	III.	4675
2. Dora	RB	1.12.70	III.	4686
Doris	RB	1.12.70	III.	5613
3. Adda	SB	5. 5.73	I.	-
Ate	SB	24. 5.73	I.	-
4. Gunda	RB	8.10.69	IV.	4235
Gundi	RB	8.10.69	IV.	4201
5. Dora	RB	1.12.70	IV.	5505
Doris	RB	1.12.70	IV.	5628

RB = Rotbunt

SB = Schwarzbunt

3.2 Technische Einrichtungen und Datenerfassung

A. Klimakammer

Zur Versuchsdurchführung stand eine Klimakammer zur Verfügung mit folgenden Daten:

Größe	: 50 m ³
Einrichtung	: Zwei Langstände mit getrennten Futterkrippen. Die fehlende Kotstufe machte ein zusätzliches Einstreuen erforderlich.
Frischluftdurchsatz	: 1200 m ³ /Stunde
Windgeschwindigkeit	: 0,2 m/Sekunde
Genauigkeit der technischen Möglichkeiten zur Temperatur- und Luftfeuchtere- gulation	Temperatur : $\pm 1^{\circ}\text{C}$ Luftfeuchte : $\pm 5\%$:

B. Telemetrie

Die Erfassung der physiologischen Daten (Körpertemperatur, Hauttemperatur, Atemfrequenz und Herzfrequenz) erfolgte mit Hilfe drahtgebundener Telemetrie. Zu diesem Zweck wurden Meßsonden durch Gurte am Tierkörper fixiert, die durch Kabel mit einem Adapter auf dem Rücken der Tiere verbunden waren. Die so gewonnenen Informationen wurden ebenfalls mittels Kabelverbindung in den Aufzeichnungsraum an ein Datenverteilungssystem übermittelt, das die ankommenden Daten auf ein Aufzeichnungsgerät übertrug. Hier zeichneten vier Meßschreiber die übermittelten Werte für die Körpertemperatur,

Hauttemperatur, Atemfrequenz und Herzfrequenz auf ein zum Meßzeitpunkt durchlaufendes Meßpapier auf. Eine Schaltuhr regelte das zeitgerechte Einschalten des Meßgerätes zu den gewünschten Meßintervallen. Die beiden Tiere einer Versuchsgruppe wurden dabei ohne akustische oder sensitive Beeinflussung nacheinander untersucht.

1. Messung der Körpertemperatur

Zur Messung der Körpertemperatur wurde die vaginale Meßmethode gewählt. Es wurden hierbei 4 cm lange Temperaturfühler verwendet, die mit einem Plastikrohr verstärkt waren. Um eine dauerhafte Implantation der Fühler zu erreichen, wurden im Bereich beider Sitzbeinhöcker Kunststoffäden durch die Oberhaut gezogen, die am distalen Ende des Temperaturfühlers fixiert wurden.

2. Messung der Hauttemperatur

Die Sonde zur Messung der Hauttemperatur wurde auf der linken Rumpfseite drei Handbreit unterhalb des Widerristes befestigt.

3. Messung der Atemfrequenz

Die Sonde zur Messung der Atemfrequenz wurde durch einen Ledergurt so im Bereich der Hungergrube plaziert, daß mit einer möglichst großen Übertragung der Flankenbewegungen auf die Sonde gerechnet werden konnte.

4. Messung der Herzfrequenz

Zur Messung der Herzfrequenz wurde das Elektrokardiogramm angewendet. Es wurden dabei drei Sonden am Tierkörper fixiert, und zwar so, daß ihr Richtstrahl diagonal durch den Tierkörper ging. Die eine Sonde befand sich handbreit vor dem dorsokraniellen Winkel des linken Schulterblattes, die andere am fünften Interkostalraum rechts in Höhe des Ellenbogenhöckers. Die dritte Sonde diente als Erdung.

Das Prinzip der Telemetrie wurde ebenfalls bei der Erfassung der Werte für die Trinkhäufigkeit und Liegezeiten angewendet; es erfolgte hier lediglich eine Übertragung der Impulse auf einen umgebauten Thermohygrographen.

5. Trinkhäufigkeit

An den Tränken waren Schalter angebracht, die bei jedem Saufvorgang einen Impuls auf das Meßsystem übertrugen. Die täglich aufgenommenen Wassermengen konnten an entsprechenden Wasseruhren abgelesen werden.

6. Liegezeiten

Zur Messung der Liege- und Stehzeiten der Tiere wurde ein Seil am Tierkörper befestigt, das mit einem Schalter verbunden war, der jeden durch Aufstehen und Hinlegen ausgelösten Impuls an den umgebauten Thermohygrographen weiterleitete.

3.3 Versuchsbedingungen und Meßzeitplan

A. Versuchsbedingungen

	<u>Vorperiode</u>	<u>Belastungsperiode</u>
Dauer	10 Tage	20 Tage
Temperatur	20°C	30°C
Luftfeuchtigkeit	50%	40%
Lichtprogramm	von 5 Uhr bis 17 Uhr hell, von 17 bis 5 Uhr dunkel.	

B. Zeitplan der vorgenommenen Messungen

I. Die Erfassung der Körper- und Hauttemperatur und der Atem- und Herzfrequenz erfolgte 8 x täglich zu festgesetzten Tageszeiten, und zwar um 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20 und 23 Uhr.

II. Bei den Liegezeiten und der Trinkhäufigkeit erfolgte eine kontinuierliche tägliche Aufzeichnung über 24 Stunden.

III. Die Wassermenge wurde täglich um 9 Uhr abgelesen.

IV. Zur Erfassung der Blutwerte wurde während der Vorperiode eine zweimalige Blutprobe entnommen, während für die Belastungsperiode fünf Proben untersucht wurden. Die Blutuntersuchung beschränkte sich auf die Bestimmung des pH-Wertes, des Hämatokrits und des Gesamt-Plasma-Proteins.

3.4 Statistische Auswertung

Die Varianzanalyse der untersuchten Merkmale wurde nach der Least-Squares Methode von Harvey (1960) durchgeführt. Für den Aufbau der Varianzanalyse wurde folgendes statistisches Modell zugrunde gelegt:

$$Y_{ijk} = \mu + z_i + T_{j:i_1} + T_{j:i_2} + T_{j:i_3} + T_{j:i_4} + T_{j:i_5} + M_k + e_{ijk}$$

Es bedeuten:

Y_{ijk}	= Beobachtungswert zum Meßtag k des Tieres j des Zwillingspaares i
μ	= Durchschnittswert des Datenmaterials
$z_i (i = 1 \dots 5)$	= Einfluß des Zwillingspaares i
$T_{j:i} (j=1,2; i=1 \dots 5)$	= Einfluß des Tieres j innerhalb des Zwillingspaares i
$M_k (k=1 \dots 20)$	= Einfluß des Meßtages k
e_{ijk}	= Reststreuung

Die Differenzen zwischen den Meßtagen wurde mit dem Sequential Range Test nach Newman und Keuls geprüft. Außerdem wurden Beziehungen zwischen den untersuchten Merkmalen nach Ausschaltung des Einflusses des Zwillingspaares und des Tieres geschätzt.

Die untersuchten Parameter werden anhand von Gesamtmittelwertkurven aller fünf Tierpaare dargestellt. In Fällen von wesentlichen und/oder interessanten Unterschieden zwischen den Einzeltierpaaren wurden zusätzlich entsprechende Mittelwertkurven der Einzeltierpaare zur Veranschaulichung herangezogen.

Da die varianzanalytische Bearbeitung des Datenmaterials und die Berechnung der Korrelationen bei der Struktur des hier verwendeten Tiermaterials keine repräsentativen Ergebnisse zuläßt, werden die Versuchsergebnisse vorrangig mit Hilfe der Darstellungen und des Sequential Range Tests beschrieben. Die Varianzanalyse und die Korrelationen werden in einem gesonderten Kapitel besprochen.

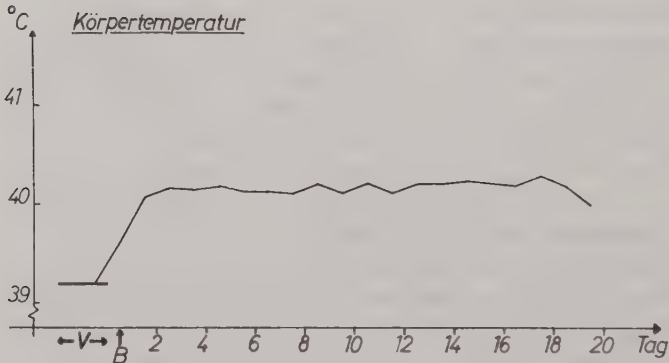
4. Versuchsergebnisse

4.1 Einfluß der Wärmebelastung auf die Körpertemperatur

Es wurde aus praktischen Überlegungen zur Registrierung der Körpertemperatur die vaginale Meßmethode gewählt, da so das Meßinstrument während des ganzen Versuchsdurchganges im Tier verbleiben konnte. Es ist daher etwas schwierig, die Ergebnisse dieser Versuche mit der Mehrzahl der in der Literatur angeführten Arbeiten zu vergleichen, da diese sich hauptsächlich mit Rektaltemperaturen befassen. Nach Kelly (1967) gilt es jedoch als sicher, daß die Vaginaltemperatur, die mit den jeweils verschiedenen Laktationsstadien variiert, um etwa $0,5^{\circ}\text{C}$ höher liegt als die Rektaltemperatur. Da in dieser Untersuchung hauptsächlich der Anstieg der Körpertemperatur berücksichtigt werden soll, statt die eigentlichen Werte zu betrachten, sind die absoluten registrierten Werte für die Körpertemperatur nur von sekundärer Bedeutung.

Der Durchschnittswert der Vaginaltemperatur für alle fünf Tierpaare während der Wärmebelastungsperiode betrug $40,1^{\circ}\text{C}$ (Abb. 1a). Im Vergleich hierzu wurde während der Vorbereitungsperiode ein entsprechender Durchschnittswert von $39,2^{\circ}\text{C}$ gemessen. Diese Ergebnisse würden also einen etwas niedrigeren korrespondierenden Wert für die Rektaltemperatur bedeuten.

Abb.1a: Tagesmittelwerte der Körpertemperatur, ermittelt aus acht täglichen Einzelmessungen für fünf Tierpaare.



V = Mittelwert der Vorbereitungsperiode (10 Tage)

B = Beginn der Wärmebelastungsperiode

Angaben zur statistischen Sicherung (Sequential Range Test) sind aus dem Text zu entnehmen.

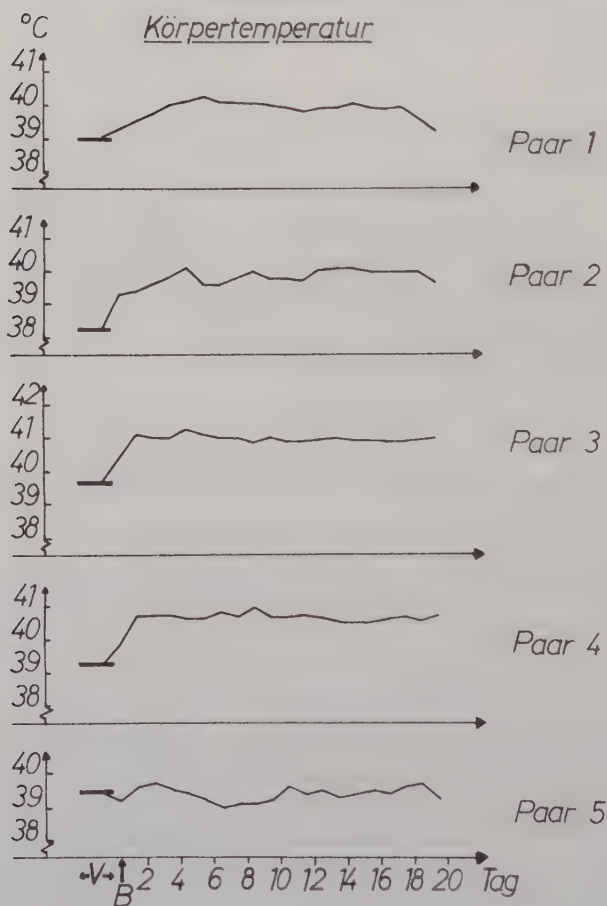
Die aufgezeichneten Werte für die Körpertemperatur während der Wärmebelastungsperiode bewegten sich an der oberen Grenze des 'normalen' physiologischen Schwankungsbereiches. Es muß aber betont werden, daß die normale physiologische Schwankungsbreite nur als ein Leitwert für die physiologischen Körpertemperaturschwankungen angesehen werden kann, da diese die Resultate von klinischen

Untersuchungen bei europäischen Rindern unter gemäßigten Klimabedingungen darstellen. Es besteht aber die Möglichkeit, daß die Körpertemperatur der gleichen Tiere unter anderen Klimabedingungen eine veränderte Schwankungsbreite aufweist.

Die Resultate des Sequential Range Tests zeigten, daß der Anstieg der Körpertemperatur erst am zweiten Tag der Wärmebelastung signifikant war. Dieses läßt die Vermutung aufkommen, daß die verzögerte Reaktion der Körpertemperatur einem Wärmestau im Tierkörper zuzuschreiben war, der eine gewisse Zeitspanne benötigte, sich zu manifestieren. Nach diesem Temperaturanstieg wurde eine mehr oder weniger konstante Körpertemperatur erreicht.

Der Vergleich der Einzeltierpaare in Abb.1b zeigt eine ähnliche Tendenz der Körpertemperatur, indem diese ansteigt und sich dann mehr oder weniger um einen konstanten Bereich bewegt.

Abbildung 1b: Tagesmittelwerte der Körpertemperatur, ermittelt aus acht täglichen Einzelmessungen für jedes Einzeltierpaar



V = Mittelwert der Vorbereitungsperiode (10 Tage)
 B = Beginn der Wärmebelastungsperiode

Es bleibt die Frage nach der Bedeutung des aufgezeichneten Anstieges der Körpertemperatur bei der Versuchstemperatur von 30°C.

Es besteht einmal die Möglichkeit, daß der Anstieg der Körpertemperatur als ein Unvermögen des Tieres, eine konstante Körpertemperatur aufrechtzuerhalten, anzusehen ist. Bei der Aufrechterhaltung einer konstanten Körpertemperatur muß vorausgesetzt werden, daß der Wärmeverlust und die Wärmeproduktion übereinstimmen. Diese Möglichkeit erscheint etwas fraglich, da die Bedingungen des Wärmeverlustes in beträchtlichem Maße mit den jeweiligen Umweltfaktoren variieren. Zum anderen besteht die Möglichkeit, daß der aufgezeichnete Anstieg der Körpertemperatur während der Wärmebelastung eine 'normale' physiologische Antwort auf hohe Umwelttemperaturen darstellt. In diesem Falle würde die neu erreichte Körpertemperatur mit einem neuen Ausgangswert für eine neue normale Schwankungsbreite für die entsprechende Temperaturskala übereinstimmen.

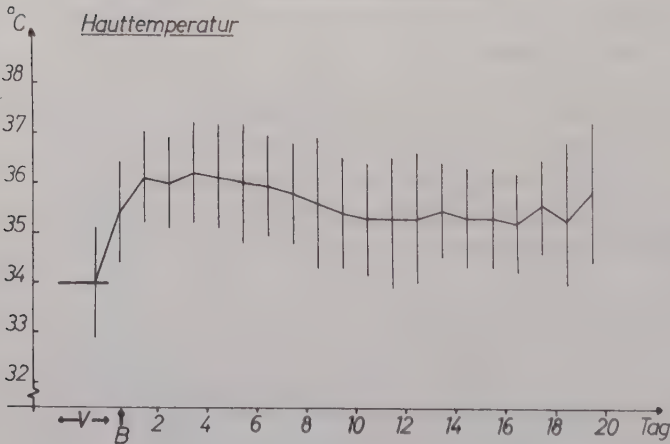
Obwohl es eine weit verbreitete Ansicht ist, daß homöotherme Tiere dazu neigen, ihre Körpertemperatur in engen Grenzen konstant zu halten, kann angenommen werden, daß die Fähigkeit, große Schwankungen der Körpertemperatur zu tolerieren, von Vorteil für die Ökonomisierung ihres Energiehaushaltes ist.

4.2 Einfluß der Wärmebelastung auf die Hauttemperatur

Die durchschnittliche Hauttemperatur des Rumpfes bei einer Umwelttemperatur von 15°C wird in der Literatur im Bereich von $33\text{--}34^{\circ}\text{C}$ angegeben. Diese Werte stimmen mit dem durchschnittlich aufgezeichneten Wert für die Vorbereitungsperiode in der Klimakammer bei 20°C überein, der 34°C betrug.

Es zeigte sich, daß die durchschnittliche Hauttemperatur während der Wärmebelastungsperiode anstieg (Abb.2), und zwar fand ein großer Teil dieses Anstieges während der ersten vierundzwanzig Stunden statt.

Abbildung 2: Tagesmittelwerte der Hauttemperatur mit Standardabweichungen, ermittelt aus acht täglichen Einzelmessungen für fünf Tierpaare



V = Mittelwert der Vorbereitungsperiode (10 Tage)

B = Beginn der Wärmebelastungsperiode

Angaben zur statistischen Sicherung (Sequential Range Test) sind aus dem Text zu entnehmen.

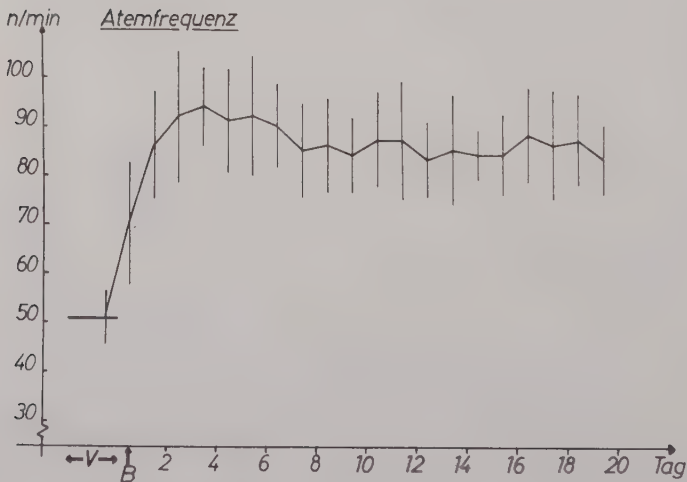
Die Temperatur während der Wärmebelastung war ungefähr 2°C höher als die in der Vorbereitungsperiode aufgezeichneten Werte. Dieser anfängliche Anstieg war für alle zehn Tiere typisch. Wie in Abb.2 dargestellt, zeigte sich, daß die Hauttemperatur nach dem zweiten Tag der Wärmebelastung die Tendenz zeigte, abzufallen. Dieser Abfall konnte aber durch den Sequential Range Test nicht statistisch abgesichert werden.

Die vorliegenden Ergebnisse stimmen im allgemeinen mit denen von Thompson et al.(1951,1952), Worstell und Brody (1953) überein, obwohl die Bedingungen für die Luftfeuchtigkeit und die Belastungsdauer unterschiedlich waren. Diese Autoren fanden ebenfalls einen Abfall der Herzfrequenz während der Wärmebelastungsperiode. Der Grund für die abfallende Tendenz der Hauttemperatur könnte in Zusammenhang gebracht werden mit einem daraus resultierenden Abfall der Hautdurchblutung. Ein Versuch des Vergleiches zwischen Hauttemperatur und kardialen System erscheint jedoch verfrüht, da eine direkte Beziehung zwischen dem kardialen System und peripheren Gefäßnetz bei Rindern noch weitgehend unbekannt ist.

4.3 Einfluß der Wärmebelastung auf die Atemfrequenz

Die Reaktion der Atemfrequenz (Abb.3) verhielt sich ähnlich wie die der Hauttemperatur, denn beide Parameter zeigten einen statistisch signifikanten Anstieg während der ersten vierundzwanzig Stunden der Wärmebelastung.

Abbildung 3: Tagesmittelwerte der Atemfrequenz mit Standardabweichungen, ermittelt aus acht täglichen Einzelmessungen für fünf Tierpaare



V = Mittelwert der Vorbereitungsperiode (10 Tage)

B = Beginn der Wärmebelastungsperiode

Angaben zur statistischen Sicherung (Sequential Range Test) sind aus dem Text zu entnehmen.

Nach einer Belastungszeit von einigen Tagen zeigte sowohl die Atemfrequenz als auch die Hauttemperatur eine leicht fallende Tendenz, was sowohl im Falle der Hauttemperatur als auch im Falle der Atemfrequenz statistisch nicht abgesichert werden konnte.

Die ähnlich verlaufende Reaktion dieser beiden Parameter kann ziemlich genau erklärt werden durch die allgemein bekannte, inverse Beziehung zwischen Hecheln und Hauttemperatur. Eingehende diesbezügliche Untersuchungen haben gezeigt, daß geringfügige Transpiration und eine daher warme Hautoberfläche gewöhnlich mit einer hohen Atemfrequenz verbunden ist, wogegen reichliche Transpiration und eine demzufolge kühle Hautoberfläche eine niedrige Atemfrequenz zur Folge hat.

Beobachtungen der Tiere zeigten eine sehr oberflächliche Atmung mit gesteigerter Frequenz. Sie kann mit Sicherheit der 'ersten Atmungsphase' zugeordnet werden. Einen Beweis für diesen Atmungstyp lieferten die Blut-pH-Werte, die während der Wärmebelastungsperiode mehr oder weniger konstant blieben. Obwohl es wünschenswert gewesen wäre, den pH-Wert des öfteren oder über längere Zeiträume zu messen, konnte es dennoch nicht bezweifelt werden, daß der praktisch konstant gebliebene pH-Wert als repräsentativ für eine meist unveränderte Beziehung zwischen den Blutgasen, Kohlendioxid und Sauerstoff angesehen werden konnte, und daß bei der Atmung nur ein bloßer Frequenzanstieg zu verzeichnen war.

Sieht man die Anstiegsrate der Atemfrequenz als bezeichnend für die Rolle der Atmung bei der Wärmeverteilung durch

atmungsbedingte Verdunstung an, so kann angenommen werden, daß die niedrige Atemfrequenz von 86 Atemzügen pro Minute während der Wärmebelastung, verglichen mit dem möglichen Maximum der Atemfrequenz von über 200 Atemzügen pro Minute beim erwachsenen Rind, nur eine untergeordnete Rolle innerhalb des gesamten Verdunstungsvorganges spielte.

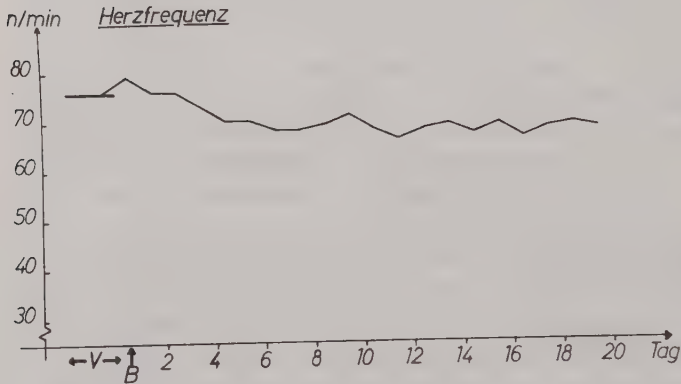
4.4 Einfluß der Wärmebelastung auf die Herzfrequenz

Die Reaktion der Herzfrequenz auf Wärmebelastung war von Tierpaar zu Tierpaar nicht einheitlich, was durch einen Vergleich der Kurven jedes einzelnen Tierpaares offensichtlich wird (Abb.4b).

Ein leichter Anstieg der Herzfrequenz zu Beginn der Wärmebelastung war bei den Paaren 1, 3, 4 und 5 zu verzeichnen. Diesem Anstieg der Herzfrequenz, der mit dem Einsetzen der Wärmebelastung zu beobachten war, konnte aber statistisch keine Bedeutung zugemessen werden.

Von Interesse ist der Vergleich zwischen den in Abb.4a gezeigten Durchschnittswerten für die Herzfrequenz mit denen der Milchleistung, die aus Abb.7 entnommen werden können. Ein solcher Vergleich läßt erkennen, daß die Milchproduktion während der Wärmebelastungsperiode sich ähnlich verhielt. In beiden Fällen, d.h. sowohl bei der Herzfrequenz als auch bei der Milchleistung konnte die Reaktion auf die Wärmebelastung während der ersten vier Tage statistisch nicht als von den während der Vorbereitungsperiode aufgezeichneten Werten abweichend abgesichert werden. Nach dem vierten Tag zeigten dann beide Parameter eine abfallende Tendenz. Dieses Verhalten der Herzfrequenz und der Milchleistung konnte statistisch abgesichert werden.

Abbildung 4a: Tagesmittelwerte der Herzfrequenz, ermittelt aus acht täglichen Einzelmessungen für fünf Tierpaare



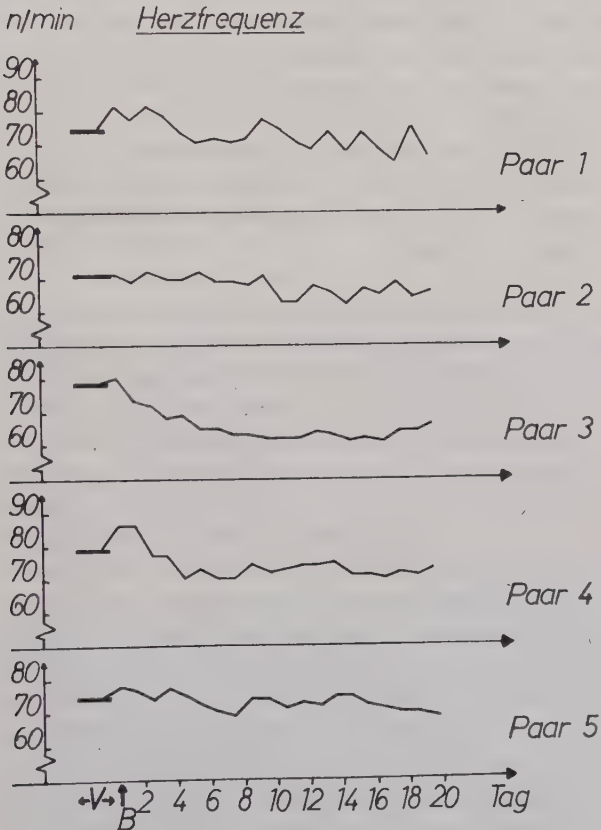
V = Mittelwert der Vorbereitungsperiode (10 Tage)

B = Beginn der Wärmebelastungsperiode

Angaben zur statistischen Sicherung (Sequential Range Test) sind aus dem Text zu entnehmen.

Dieses sehr ähnliche Verhalten von Herzfrequenz und Milchleistung könnte vielleicht durch die positive Korrelation zwischen der Herzfrequenz und dem Stoffwechsel erklärt werden, wie in den Publikationen von Kibler et al. (1949) und Roy et al. (1957) beschrieben.

Abbildung 4b: Tagesmittelwerte der Herzfrequenz, ermittelt aus acht täglichen Einzelmessungen für jedes Einzeltier



V = Mittelwert der Vorbereitungsperiode (10 Tage)
B = Beginn der Wärmebelastungsperiode

Obwohl sowohl eine Zunahme als auch eine Abnahme der Herzfrequenz in der Literatur beschrieben wurde und zwar bei Temperaturen, die mit der bei diesem Versuch vorherrschenden übereinstimmen, zeigt sich bei näherer Betrachtung, daß Fälle einer Zunahme der Herzfrequenz lediglich bei Versuchen mit Kälbern festgestellt wurden. Dagegen ergab sich bei erwachsenen Tieren eine Abnahme der Herzfrequenz. Dies könnte durch die Tatsache erklärt werden, daß bei gleich hoher Temperatur die Atemfrequenz bei erwachsenen Rindern relativ niedrig lag, während bei Kälbern von sehr hohen Atemfrequenzen berichtet wurde.

Es ist dennoch zu diesem Zeitpunkt nicht möglich, vor auszusehen, in welchem Ausmaß die Herzfrequenz eine Rolle bei der Thermoregulation spielt. Weitere Informationen bezüglich des Effektes der Umwelttemperatur auf das gesamte kardiovaskuläre System werden dringend benötigt. In diesem Zusammenhang sollte dem Verhalten des Schlagvolumens besondere Beachtung geschenkt werden, um eine exaktere Beurteilung des Effektes von Wärmebelastung auf die Herzarbeit zu ermöglichen. Es wird Aufklärung über die genauere Rolle und Kontrolle des Blutflusses durch arterio-venöse Anastomosen benötigt und weitere Information über die Hautdurchblutung in Verbindung mit Wärmeaustausch und der Kontrolle des Schwitzens ist erforderlich. Schließlich ist zusätzliche genauere Information über Änderungen des Blutvolumens, des Wasserhaushaltes und Ionenzusammensetzung des Plasmas erforderlich. Nur durch das Zusammentragen aller dieser Daten wird es möglich sein, die Reaktionen der Herzfrequenz unter Wärmebelastung zu analysieren.

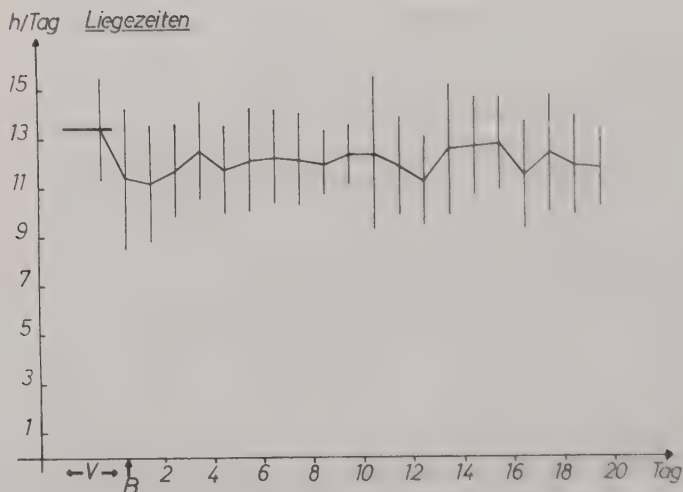
4.5 Einfluß der Wärmebelastung auf die Liegezeiten

Es wird bei Haustieren im allgemeinen beobachtet, daß sie auf ihre jeweilige Umgebungstemperatur mit Veränderungen ihrer Verhaltensweisen reagieren. Bei Rindern beeinflussen gewisse Stellungen sowie Stellungsänderungen die Beziehung zwischen Körperoberfläche und Körpervolumen und wirken sich auf diese Weise auf den Wärmeaustausch zwischen Organismus und Umwelt aus.

Bei diesbezüglichen Versuchen in der Klimakammer, wo den Tieren keine Möglichkeit für größere Bewegungsfreiheit gegeben worden war, um direkten Auswirkungen der Hitzebelastung auszuweichen, stellte die einfache Aufzeichnung der Liege- und Stehzeiten dennoch eine Möglichkeit dar, die Auswirkungen von Wärme auf das Verhalten zu beurteilen.

Während der Wärmebelastungsperiode zeigten die Tiere die Tendenz, weniger Zeit im Liegen zu verbringen (Abb.5), was jedoch durch den Sequential Range Test nicht statistisch abgesichert werden konnte. Die Tiere verbrachten durchschnittlich 13,4 Stunden pro Tag während der Vorbereitungsperiode im Liegen. Dieser Wert erniedrigte sich während der Wärmebelastungsperiode auf 12 Stunden pro Tag. Ähnliche Ergebnisse erzielten Blaxter et al.(1961).

Abb.5: Verlauf der Liegezeiten mit Standardabweichungen, ermittelt aus täglichen (24 Stunden) Durchschnittswerten von fünf Tierpaaren



V = Mittelwert der Vorbereitungsperiode (10 Tage)

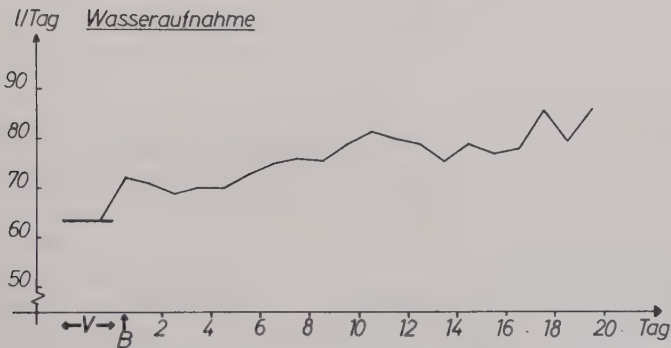
B = Beginn der Wärmebelastungsperiode

Angaben zur statistischen Sicherung (Sequential Range Test) sind aus dem Text zu entnehmen.

4.6 Einfluß der Wärmebelastung auf die Wasseraufnahme und die Trinkhäufigkeit

Die zunehmende Tendenz der Wasseraufnahme während der Wärmebelastung, wie in Abb.6a gezeigt, läßt die Vermutung aufkommen, daß der Temperaturanstieg sich generell positiv auf die Wasseraufnahme auswirkt.

Abbildung 6a: Verlauf der täglichen durchschnittlichen Wasseraufnahme von fünf Tierpaaren



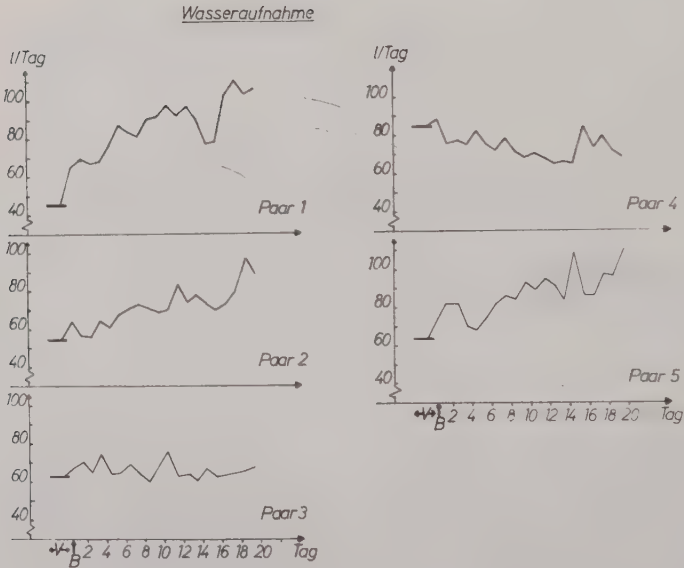
V = Mittelwert der Vorbereitungsperiode (10 Tage)

B = Beginn der Wärmebelastungsperiode

Angaben zur statistischen Sicherung (Sequential Range Test) sind aus dem Text zu entnehmen

Abb.6a ist aber irreführend und nicht charakteristisch für die Wasseraufnahme eines jeden einzelnen Tierpaares, wie man aus Abb.6b erkennen kann.

Abbildung 6b: Verlauf der täglichen durchschnittlichen Wasseraufnahme von fünf Tierpaaren



V = Mittelwert der Vorbereitungsperiode (10 Tage)
B = Beginn der Wärmebelastungsperiode

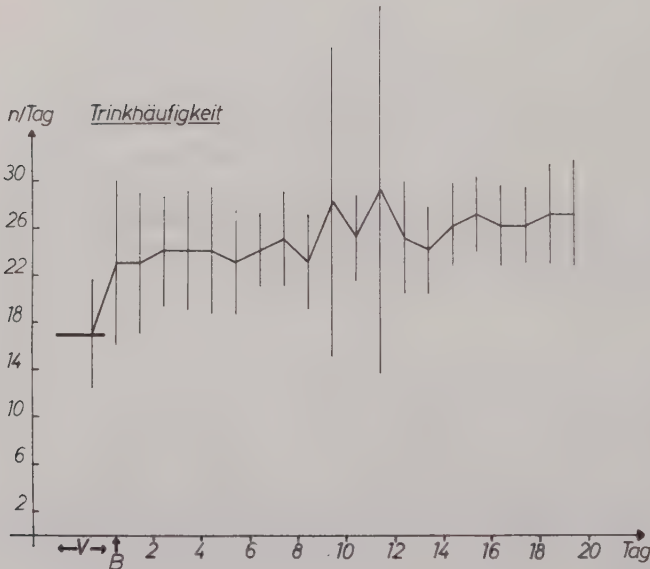
Aus Abb.6b wird ersichtlich, daß, während Paar 1, 2 und 5 einen zunehmenden Trend bei der Wasseraufnahme zeigten, bei Paar 3 die Wasseraufnahme mehr oder weniger konstant blieb und bei Paar 4 eine leichte Abnahme in der Gesamtwassermenge zu verzeichnen war. Durch den Sequential Range Test wurde bestätigt, daß die zunehmende Tendenz

der Wasseraufnahme lediglich am 11., 18., 19. und am 20.Tag statistisch abgesichert werden konnte.

Die aufgezeichneten Hämatokrit- und die Gesamt-Plasma - Proteinwerte blieben während der Wärmebelastungsperiode weitgehend unverändert. Obwohl es von Vorteil gewesen wäre, diese Werte des öfteren oder über eine längere Zeitspanne aufzuzeichnen, um zu einem genaueren Ergebnis zu kommen, deuten die beinahe unverändert gebliebenen Werte auf einen im allgemeinen nicht beeinflussten Wasserhaushalt hin. In neueren Arbeiten wird berichtet, daß es zu einer Änderung des Albumin-Globulin-Verhältnisses im Plasma unter Wärmebelastung kommt. Weitere Nachforschungen auf diesem Gebiet wären von Interesse.

Die Aufzeichnung der Trinkhäufigkeit lieferte weitere Information über die Wasseraufnahme. Aus Abb.7 wird ersichtlich, daß die Tiere während der Wärmebelastungsperiode öfter tranken. Obwohl ein besonderer Tagesrhythmus nicht festgestellt werden konnte, fiel es dennoch auf, daß die nocturne Trinkhäufigkeit anstieg. Die zunehmende Tendenz der Trinkhäufigkeit konnte nur am 1., 3., 10., 12., 16., 19. und am 20.Tag durch den Sequential Range Test statistisch abgesichert werden.

Abbildung 7: Verlauf der täglichen durchschnittlichen
Trinkhäufigkeit von fünf Tierpaaren



V = Mittelwert der Vorbereitungsperiode (10 Tage)

B = Beginn der Wärmebelastungsperiode

Angaben zur statistischen Sicherung (Sequential Range Test) sind aus dem Text zu entnehmen.

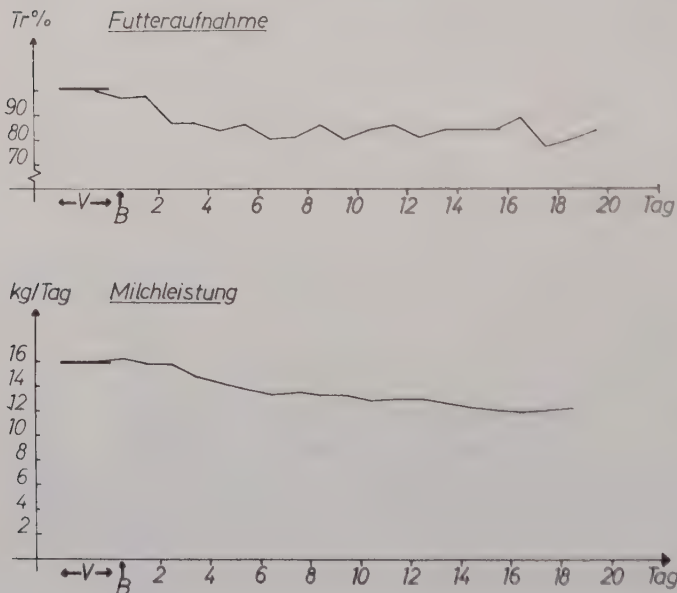
Es entspricht der allgemeinen Ansicht, daß bei warmen Umgebungstemperaturen die Wasseraufnahme zunimmt. Diese verhaltensbedingte Reaktion wird aus dem Gesichtspunkt der Energiebilanz verständlich. Bei warmen Umwelttemperaturen verdunstet das Tier mehr Wasser, um einer über-

schüssigen Wärmebildung entgegenzutreten und sein Wasserbedarf erhöht sich entsprechend. Es ist aber ebenfalls bekannt, daß bei einer ausreichend starken Depression der Futteraufnahme und damit der Milchproduktion die Wasseraufnahme abnimmt. Da der Wasserverbrauch nicht nur von der Umwelttemperatur sondern auch von der Futteraufnahme und Milchproduktion abhängig ist, welche beide in Bezug auf individuelle Grundstoffwechselrate, Laktationsstadium etc. stark variieren, würde es wahrscheinlich ein zuverlässiges Kriterium für den Grad des Hitzestresses eines Tieres darstellen, die Häufigkeit der Wasseraufnahme zu betrachten.

4.7 Einfluß der Wärmebelastung auf die Futteraufnahme und die Milchproduktion

Die Futteraufnahme nahm mit dem Einsetzen der Wärmebelastung ab. Da der prozentuale Abfall des verdaulichen Eiweißes und der Störkeeinheiten weitgehend parallel mit dem der Trockensubstanz zurückging, wurde lediglich der letztere in Abb.8 dargestellt.

Abbildung 8: Verlauf der durchschnittlichen täglichen Futteraufnahme und Milchleistung von fünf Tierpaaren



V = Mittelwert der Vorbereitungsperiode (10 Tage)

B = Beginn der Wärmebelastungsperiode

Angaben zur statistischen Sicherung (Sequential Range Test) sind aus dem Text zu entnehmen

Die Abnahme der Futteraufnahme unter Wärmebelastung ist ausführlich beschrieben worden, und zwar mit unterschiedlichen Ergebnissen in Bezug auf den Grad der Futterreduzierung bei unterschiedlichen Umwelttemperaturen. Die prozentuale Abnahme der Futteraufnahme bei diesen Versuchsreihen betrug 15% während der Wärmebelastungsperiode. Der stärkste individuelle Abfall während der Wärmebelastungsperiode betrug 23%. Die Daten für die Futteraufnahme stimmten mit den Ergebnissen von Kibler et al.(1964) überein, die bei 29°C einen Abfall der Futteraufnahme bis zu einem Bereich von 10-25% fanden.

In der Milchproduktion wurde ein ähnlicher Abfall festgestellt (Abb.8). Der durchschnittliche prozentuale Abfall der Milchproduktion betrug 18% während der Wärmebelastung. Es kann als wahrscheinlich angenommen werden, daß der Hauptgrund für den Abfall in der Milchproduktion einem Abfall in der Futteraufnahme zuzuschreiben war.

Die Resultate des Sequential Range Test zeigten, daß die Reduktion der Milchleistung nicht sofort einsetzte, sondern erst nach dem vierten Tag der Wärmebelastung. Dieses kann sicherlich der Tatsache zugeschrieben werden, daß die Kühe ausreichend Reserven für ihren Stoffwechsel zu verwerten hatten.

4.8 Zusätzlich beobachtete verhaltensbedingte Reaktionen

Im Verlauf dieser Versuchsreihe wurden mehrere wiederholt auftretende verhaltensbedingte Reaktionen beobachtet, die vermutlich zu einem verschiedenen Grad von thermoregulatorischer Bedeutung waren.

1) Es war häufig zu sehen, daß die Tiere längere Zeit damit verbrachten, ihre Körper zu belecken. Dies kann höchstwahrscheinlich als zusätzliche Hilfsmaßnahme bei der Hautkühlung angesehen werden.

2) Die Tiere entwickelten die Angewohnheit, auf spielerischem Wege große Mengen von Wasser zu verschütten, so daß die aufgezeichneten Werte für die Wasseraufnahme wahrscheinlich wesentlich höher lagen als die tatsächlich aufgenommenen Mengen. Mehrere Tiere zeigten dann die weitere Angewohnheit, in Pfützen dieses selbstverschütteten Wassers zu liegen, was ohne Zweifel einen Kühlungseffekt hatte.

Es wird vorgeschlagen, für zukünftige derartige Versuche das Wasser nicht ad libitum anzubieten. Festgesetzte Tränkezeiten würden bessere Ergebnisse für die tatsächlich aufgenommenen Wassermengen liefern. Für die Zukunft wäre es von Interesse, parallel zu der Erfassung der aufgenommenen Wassermengen den Wassergehalt der Faezes und des Harnes und möglicherweise auch die Verdunstungsrate zu bestimmen, um auf diese Weise einen besseren Einblick in den Ausnutzungsgrad des Wassers vom Organismus zu bekommen.

3) Überraschend bei der Erfassung der Liegezeiten war die Stellung, welche die Tiere einnahmen, während sie auf dem Boden lagen. Hier wurde beobachtet, daß mehrere Tiere längere Zeit auf der Seite lagen, sowohl auf der rechten wie auch auf der linken, wobei sie ihre Beine beinahe senkrecht von ihrem Körper ausgestreckt hielten und auf diese Weise sogar im Liegen das Verhältnis von Körperoberfläche zu Körpervolumen beeinflussen und die Bedingungen für Wärmeverlust durch Konduktion verbessern konnten. Die allgemein geltende Ansicht, daß Rinder nicht für längere Zeit wegen Störung ihrer Pansenfunktion auf der Seite liegen können, schien bei diesen Tieren ihre Gültigkeit verloren zu haben.

Obwohl es nicht möglich ist, eine Quantifizierung des Wirkungsgrades des Wärmeverlustes durch diese verhaltensbedingten Reaktionen aufzustellen, so müssen diese Verhaltensreaktionen als ein Mittel zur Thermoregulation angesehen werden. Bei weiteren physiologischen Studien wäre es zu befürworten, daß komplementäre Verhaltensbeobachtungen durchgeführt werden sollten.

4.9 Ergebnisse der Varianzanalyse

Die Ergebnisse der Varianzanalyse sind in den Tabellen 2a und 2b dargestellt.

Die Varianzursache "Meßtag" hatte einen hoch signifikanten Einfluß auf alle Parameter ($p < 0,001$), lediglich bei der Trinkhäufigkeit war ihr Einfluß nur schwach signifikant. Der prozentuale Varianzanteil des "Meßtages" war bei den einzelnen Parametern sehr unterschiedlich. Besonders von Interesse war der sehr hohe prozentuale Varianzanteil bei der Atemfrequenz. Er betrug hier 42,6%. Dieses Ergebnis zeigt, daß der Effekt der Temperatur auf die Atemfrequenz von größerem Einfluß war als die Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchspaaren oder zwischen den Individuen innerhalb der Versuchspaare. Ein gegensätzliches Ergebnis zeigte sich bei der Wirkung des Meßtages auf die Milchleistung. Hier erwies er sich extrem niedrig mit einem geringen prozentualen Varianzanteil von nur 3,7%. Dieses kann dadurch erklärt werden, daß die Unterschiede zwischen den Versuchspaaren bezüglich ihres unterschiedlichen Laktationsstadiums von größerer Bedeutung für die Unterschiede bei den Schwankungen der Milchleistung waren als die Belastung selber.

Wie vermutet, war die Varianzursache 'Versuchspaar' im allgemeinen von großem Einfluß auf die einzelnen Parameter. Der prozentuale Varianzanteil war generell hoch. Dieses kann zum großen Teil durch die genetischen Unterschiede zwischen den einzelnen Tierpaaren erklärt werden.

Nur im Falle der Milchleistung und der Herzfrequenz konnte ein im allgemeinen statistisch abgesicherter signifikanter Unterschied zwischen den Individuen innerhalb des

Versuchspaares gefunden werden. Es zeigten sich hier hoch signifikante Unterschiede zwischen allen Individuen bei der Milchleistung und mit Ausnahme von Paar 5 auch bei der Herzfrequenz. Da Herzfrequenz und Milchleistung die mit dem Stoffwechsel am engsten verbundenen Parameter darstellen, ist anzunehmen, daß die Effekte der individuellen Stoffwechselhaushalte ebenfalls von beträchtlichem Einfluß auf die Reaktionen dieser Parameter waren.

Der verbleibende, allgemein hohe prozentuale Varianzanteil 'Rest' zeigt, daß mehrere andere Faktoren vorliegen, die einen mehr oder weniger signifikanten Einfluß auf die Einzelparameter ausübten oder daß gravierende methodische Fehler vorlagen.

Die in der Varianzanalyse aufgeführten Werte stützen sich nur auf eine geringe Tierzahl und können daher nur als ein allgemeiner Hinweis angesehen werden, um den Effekt einiger möglicher Varianzursachen auf die untersuchten Parameter darzustellen. Um eine statistisch genauere Interpretation zu erreichen, hätte man wesentlich größere Tierzahlen benötigt.

Korrelationen zwischen den untersuchten Parametern

Aus Tabelle 3 sind die aufgezeichneten Korrelationen zwischen den untersuchten Parametern zu ersehen. Die Korrelationen zwischen den verschiedenen Ergebnissen sind im allgemeinen niedrig. Die Körpertemperatur zeigte hierbei die engsten Korrelationen zu den anderen Parametern.

Dieses ist ein Hinweis darauf, daß die Reaktion der Körpertemperatur in enger Wechselbeziehung zu den anderen Parametern steht. Das Verhalten der Körpertemperatur sollte also nur in Abhängigkeit zu den anderen Größen betrachtet werden.

Die enge Beziehung zwischen der Hauttemperatur und der Atemfrequenz, die anhand der Durchschnittswertkurven dargestellt wurde, wird durch die relativ hohe sowie hoch signifikante Korrelation von $r = +0,5666$ unterstrichen. Ähnlich wird die vermutete enge Beziehung zwischen Milchleistung und Herzfrequenz mit einem Korrelationswert von $r = +0,6016$ zum Ausdruck gebracht.

Tabelle 2a: Ergebnisse der Varianzanalyse

Varianzursache	FG	Körpertemperatur F S ² %	Hauttemperatur F S ² %	Atemfrequenz F S ² %	Herzfrequenz F S ² %	Milchleistung F S ² %
Meßtag	30	3,5 ⁺⁺⁺	8,6 ⁺⁺⁺	16,5 ⁺⁺⁺	7,9 ⁺⁺⁺	9,1 ⁺⁺⁺
Versuchspaar	4	38,7 ⁺⁺⁺	92,9 ⁺⁺⁺	12,0 ⁺⁺⁺	30,7 ⁺⁺⁺	775,9 ⁺⁺⁺
Tier: Paar 1	1	0,5	0,3	15,5 ⁺⁺⁺	60,2 ⁺⁺⁺	11,3 ⁺⁺⁺
Tier: Paar 2	1	8,5 ⁺⁺	8,9 ⁺⁺	1,0	22,2 ⁺⁺⁺	55,5 ⁺⁺⁺
Tier: Paar 3	1	3,1	0,8	87,9 ⁺⁺⁺	60,8 ⁺⁺⁺	47,6 ⁺⁺⁺
Tier: Paar 4	1	0,8	12,8 ⁺⁺⁺	2,6	6,7 ⁺⁺	15,1 ⁺⁺⁺
Tier: Paar 5	1	10,8 ⁺⁺	2,1	0,8	0,6	21,6 ⁺⁺⁺
Rest	146	37,5	21,4	22,8	22,6	3,7

Tabelle 2b: Ergebnisse der Varianzanalyse

Varianzursache	FG	Futter-StE F s ² %	Futter-vE F s ² %	Futter-TrS F s ² %	Wassermenge F s ² %	Trinkhäufigkeit F s ² %
Meßtag	20	3,3 ⁺⁺⁺ 7,4	3,8 ⁺⁺⁺ 7,9	3,0 ⁺⁺⁺ 8,6	2,4 ⁺⁺⁺ 6,4	2,2 ⁺⁺ 8,3
Versuchspaar	4	70,3 ⁺⁺⁺ 54,6	82,8 ⁺⁺⁺ 56,5	47,1 ⁺⁺⁺ 47,8	19,5 ⁺⁺⁺ 20,9	15,8 ⁺⁺⁺ 25,4
Tier: Paar 1	1	14,0 ⁺⁺⁺	18,3 ⁺⁺⁺	11,6 ⁺⁺⁺	66,4 ⁺⁺⁺	10,3 ⁺⁺⁺
Tier: Paar 2	1	5,0 ⁺	1,4	2,1	0,9	1,2
Tier: Paar 3	1	3,2 11,5	9,8 ⁺⁺ 12,4	0,6 8,7	12,4 34,8	5,9 8,3
Tier: Paar 4	1	0,05	0,02	0,01	1,1	0,01
Tier: Paar 5	1	20,2 ⁺⁺⁺	21,4 ⁺⁺⁺	12,0 ⁺⁺⁺	3,0	0,002
Rest	146	26,5	23,2	34,9	37,9	58,0

StE = Stärkeeinheit

vE = verdauliches Eiweiß

TrS = Trockensubstanz

Tabelle 3: Korrelationskoeffizienten zwischen den untersuchten Parametern

	Liege- zeiten	Körper- temperatur	Haut - temperatur	Atem- frequenz	Herz - frequenz	Trink- häufigkeit	Wasser- aufnahme
Körper- temperatur	-.1111						
aut- temperatur	-.1870	.2574					
tem- requenz	-.0842	.4122	.5666				
erz- requenz	-.1649	-.3983	.0649	.1659			
rirk- häufigkeit	-.1314	.2219	.0631	.3201	-.1815		
asser- aufnahme	-.0686	.0932	-.0021	.2542	-.1506	.3219	
ilch- leistung	-.1528	-.2508	.0710	.0303	.6016	.1292	.1483

Signifikanzgrenzwerte: $p < 0,05 : 0,16$
 $p < 0,01 : 0,21$
 $p < 0,001 : 0,26$

5. Diskussion

Es wurde der Versuch unternommen, die Auswirkungen von Wärmebelastung auf die thermoregulatorischen Fähigkeiten laktierender Kühe zu bestimmen. Es ist dabei von der Annahme ausgegangen worden, daß ein oder mehrere spezifische Kriterien ausgewählt werden müßten, um die grundlegende Beeinflussung der Tiere bei einer Klimakammertemperatur von 30°C und 40% relativer Luftfeuchte bestimmen zu können.

Zahlreiche Autoren betrachten die Körpertemperatur als den geeignetsten Parameter zur Feststellung der Auswirkungen eines Hitzestreß' auf ein Tier und gingen so weit, die Körpertemperatur als alleinige Grundlage für die Bewertung ihrer Hitzetoleranztests heranzuziehen. Man fragt sich allerdings, ob ein alleiniger Anstieg der Körpertemperatur unter Wärmebelastung ohne weiteres auch ein Anzeichen eines Hitzestreß' für ein Tier beinhaltet oder ob vielleicht sogar die Möglichkeit bestünde, einen für alle Rinderrassen anwendbare Körpertemperatur oder Körpertemperaturbereich als Beurteilungskriterium für Hitzestreß festzulegen. Schmidt-Nielsen (1975) vertritt die Meinung, daß ein Körpertemperaturanstieg innerhalb gewisser Grenzen tatsächlich die Fähigkeit eines Tieres, großen Schwankungen der Umwelttemperatur zu begegnen, widerspiegelt. Berman und Kibler (1959), Berman (1971) vermuten, daß hitzetolerante Tiere und auch Tiere, die sich bereits an höhere Umwelttemperaturen akklimatisiert hatten, so reagieren, als ob ihre Körpertemperatur auf ein höheres Niveau eingestellt wäre. Die vorliegenden Versuchsergebnisse unterstützen diese Vermutung. In Abb.1a läßt sich klar erkennen, daß die Körpertemperatur sich nach einigen Tagen auf ein höheres Niveau einpendelt und konstant bleibt. Dieses wird zusätzlich unterstützt durch die Beobachtung von

Paar 2, wie in Abb.1b dargestellt, dessen Körpertemperatur beim zweiten Versuch nach sieben Monaten als Paar 5 von vornherein auf ein höheres Niveau eingestellt war. Die zweite Wärmebelastung hatte infolgedessen keinen Einfluß auf ihre neu eingestellte Körpertemperatur (Tab.4).

Tab.4: Vergleichende Betrachtung der durchschnittlichen Körpertemperatur eines Tierpaares bei wiederholter Wärmebelastung

	<u>Vorperiode(°C)</u>	<u>Belastung(°C)</u>
Paar 2	38,8	39,8
Paar 5	39,4	39,4

Diese Aussage steht im Gegensatz zu Beobachtungen von Bianca (1959), der eine Depression der Rektaltemperatur von Kälbern nach mehrmaliger Wärmebelastung feststellte. Es erscheint schwierig, eine bestimmte Körpertemperatur oder einen bestimmten Körpertemperaturbereich als repräsentativ für den Grad eines Hitzestreß für ein Tier festzulegen. Dieses wird dann deutlich, wenn man vergleichende Untersuchungen zur Körpertemperatur bei ähnlichen Umwelttemperaturen betrachtet. So wurde bereits eine Körpertemperaturerhöhung um $0,8^{\circ}\text{C}$ (von $39,0$ bis auf $39,8^{\circ}\text{C}$) bei Klimakammerversuchen mit Lufttemperaturen von $25-35^{\circ}\text{C}$ als ausreichend für das Vorliegen einer starken Hitzebelastung angegeben (Alvarez et al.1970, Kamal et al.1970, Martz et al.1971). Andere physiologische Werte wurden jedoch bei

diesen Versuchen nicht erfaßt, so daß der Vergleich mit evtl. anderen, gleichzeitig veränderten Parametern nicht möglich war. Bei dem vorliegenden Versuch erhielt man eine durchschnittliche Erhöhung der Körpertemperatur um $0,9^{\circ}\text{C}$. Bei der Betrachtung der zusätzlich gemessenen physiologischen Parameter ließen sich zwar statistisch abgesicherte Werte erkennen, jedoch konnte ihnen bezüglich ihrer physiologischen Größenordnung kaum übermäßige Bedeutung zugemessen werden. Es kann angenommen werden, daß die physiologische Bedeutung der Veränderung der Körpertemperatur während der Wärmebelastung sich in den damit verbundenen Antworten der anderen untersuchten physiologischen Parameter widerspiegelte. Es scheint daher im Gegensatz zu den bereits erwähnten Autoren, die eine ähnliche Erhöhung der Körpertemperatur festgestellt haben, nicht berechtigt, von einem starken Streß der Tiere zu sprechen. Dieses wird weiter unterstützt durch die Veränderung der Milchleistung und Futteraufnahme, die nur um 18% bzw. 15% abfielen, und die Wasseraufnahme, bei der durch den Sequential Range Test nur ein gelegentlich statistisch signifikanter Anstieg während der Wärmebelastung festgestellt werden konnte.

Die Gesamtheit der Versuchsergebnisse deutet darauf hin, daß eine alleinige Bestimmung der Körpertemperatur als Beweismittel einer starken Wärmebelastung ohne Erfassung anderer physiologischer Parameter nicht ausreicht. Aus Tab.3 wird ersichtlich, daß die Körpertemperatur in enger Beziehung zu den in dieser Tabelle aufgeführten Parametern steht. So war eine negative Korrelation ($r = -0.3982$) zwischen der Körpertemperatur und Herzfrequenz zu verzeichnen. Es ist aber bei erwachsenen Rindern festgestellt worden, daß bei ausreichend hohen Umwelttemperaturen neben einem Anstieg der Körpertemperatur ebenfalls eine Zweiphasen - atmung einsetzte, die eine Tachykardie zur Folge hatte

(Whittow 1962, Whittow 1968, Hales 1968, 1969). Eine entsprechende Beobachtung konnte bei dem vorliegenden Versuch nicht gemacht werden, wonach sich das Vorliegen eines übermäßigen Hitzestreß' ausschließen läßt.

Vergleichende Studien zwischen Feld- und Klimakammerversuchen ergaben unter ähnlichen Bedingungen unterschiedliche Werte für die Körpertemperatur. Während unter den hiesigen Versuchsbedingungen eine durchschnittliche Vaginaltemperatur von $40,1^{\circ}\text{C}$ gemessen wurde, stiegen bei Klimakammerversuchen von Van Es (1970) mit Bullen bei 30°C und 75% relativer Feuchte deren Rektaltemperatur bis auf 42°C . Die Versuche mußten nach 20-stündiger Belastung mit Rücksicht auf das Leben der Tiere hier abgebrochen werden. Es muß angenommen werden, daß die höhere relative Luftfeuchte einen sehr starken Einfluß auf die thermoregulatorische Kapazität dieser Tiere hatte. Auch ein Geschlechtseffektor läßt sich nicht ohne weiteres ausschließen. Winter et al. (1977) stellten bei 25 Jersey- und 25 Frisianrindern, die auf einer Versuchsfarm in Bangladesch gehalten wurden, höhere durchschnittliche Rektaltemperaturen als bei lokalen und Sahiwalrassen fest. Die absoluten Werte waren jedoch im Vergleich zu Klimakammerversuchen relativ niedrig. So waren im Monat August bei Temperaturen von 26°C bis 31°C und einer Luftfeuchte von 77 bis 95% bei Frisianrindern durchschnittliche Körpertemperaturen von nur $38,8$ und bei Jersey solche von $38,5^{\circ}\text{C}$ gemessen worden.

Die Grenzen bei dem Gebrauch der Körpertemperatur als alleiniges Maß für Hitzebelastung wurde auch von Allen et al. (1974) erkannt. Auf der Basis dieser Annahme ent-

wickelten sie einen Test, bei dem individuelle Noten gegeben werden konnten, die auf der Zusammenfassung einiger ausgewählter Parameter beruhten. Ihre Gesamtnote (von 1 bis 10) ergibt sich aus der Summe der Noten für die Schwitzrate und die Futteraufnahme minus der Summe für die Körpertemperatur und die Atemfrequenz.

Der Gedanke der Benotung an sich muß als gute Möglichkeit angesehen werden, die Autoren berücksichtigten jedoch nicht die Auswirkungen nykthemeraler (24-Stunden-Zyklus), saisonaler und auch laktationsbedingter Schwankungen auf die Körpertemperatur, Atemfrequenz, Schwitzrate und des Stoffwechselsatzes, wie sie von Berman (1967), Berman (1968), Berman et al. (1971) beschrieben wurden. So sollten vor allem die nykthemeralen Schwankungen Berücksichtigung finden, die auch innerhalb der gleichen Jahreszeit beträchtlich sein können.

Die Bedeutung der Reaktionsweise der Atemfrequenz unter Wärmebelastung konnte bis jetzt noch nicht geklärt werden. Während McDowell et al. (1953) Beweise lieferten, daß Tiere mit einer hohen Atemfrequenz nur eine geringe Hitzetoleranz aufweisen, fand Bianca (1963) sowohl eine niedrige als auch eine hohe Atemfrequenz in Verbindung mit einer geringen Hitzetoleranz. Als Maß für die Hitzetoleranz sah er die Fähigkeit eines Tieres, seine Körpertemperatur zu regulieren. Bei dem vorliegenden Versuch wurde ein ähnlicher Vergleich zwischen erreichter Körpertemperatur während der Wärmebelastung und der Atemfrequenz unternommen (Tab.5). Benutzt man hierbei den absoluten Anstieg der Körpertemperatur als Basis für den Grad der Hitzetoleranz, so würde dieser die Ergebnisse Biancas unterstützen.

Tab.5: Vergleichende Betrachtung der durchschnittlichen Körpertemperatur und Atemfrequenz der Einzeltierpaare unter Wärmebelastung

<u>Paar</u>	<u>Körpertemperatur</u> (°C)	<u>Atemfrequenz</u> (n/min)
1	39,9	91,7
2	39,8	80,4
3	40,9	86,5
4	40,6	88,4
5	39,4	84,8

Es läßt sich anhand dieser Tabelle kein Zeichen dafür erkennen, daß eine hohe Körpertemperatur unbedingt mit einer hohen Atemfrequenz verbunden sein muß, obwohl gesagt werden muß, daß die Unterschiede in der Atemfrequenz zwischen den einzelnen Tierpaaren nur sehr gering waren.

Bianca (1963) versuchte dieses Verhalten der Atemfrequenz dadurch zu erklären, daß das Hecheln nur einen Einzelfaktor unter vielen anderen der Thermoregulation dienenden Mechanismen darstellt. Wenn infolgedessen ein Tier dank seiner niedrigen Wärmeproduktion oder eines hohen strahlungs- oder konvektionsbedingten Wärmeverlustes hitzetolerant ist, ist eine hohe Atemfrequenz nicht unbedingt für die Aufrechterhaltung des thermischen Gleichgewichtes nötig.

Unter Klimakammerbedingungen, bei denen die Temperatur konstant bei 30°C gewählt wurde, könnte man annehmen,

daß die herrschende Wärmebelastung einen größeren Streß auf die Produktivität der Versuchstiere darstellte, als es natürlichen Klimabedingungen mit durchschnittlichen Temperaturen von 30°C und fallenden Abendtemperaturen bei gleicher relativer Luftfeuchte hätten sein können. Es war also interessant, den Grad des Milchleistungs- rückganges dieser Versuchstiere von 18% mit dem derjenigen Tiere zu vergleichen, die bei entsprechenden Feldversuchen und auch Klimakammerversuchen mit simulierten Tag- und Nachtschwankungen untersucht wurden. Bei einer durchschnittlichen Tagestemperatur von 24°C mit Maximaltageswerten von 29°C berichtete Hilliger (1970) von einem allmählichen Abfall der Milchleistung bis zu 16% am Ende einer 15-tägigen Wärmebelastungsperiode. Die relative Luftfeuchte wurde jedoch in seiner Arbeit nicht erwähnt. Ein ähnliches Verhalten der Milchleistung bei vergleichbaren Temperaturen wurde von Wood (1969, 1970) beobachtet. Marschang (1973) stellte bei Feldbeobachtungen bei Außentemperaturen zwischen 25 - 30°C einen Rückgang der Milchleistung um 33% fest. Die eigenen Ergebnisse für den Rückgang der Milchleistung sind also als vergleichsweise niedrig anzusehen.

Es wurde berichtet, daß der Durchschnitt eines diurnalen Temperaturzyklus den gleichen Effekt auf die Milchleistung wie eine vergleichbare konstante Temperatur ausüben würde (Brody et al. 1953). Der durchschnittliche Rückgang der Milchleistung von 18% bei den eigenen Versuchstieren war jedoch mit dem drastischen Abfall der Milchleistung von 50% während einer "fraktionierten" Wärmebelastung von Comberg et al. (1972), die Tages- und Nachttemperaturen in der Klimakammer von 35 auf 25°C und von 35 auf 30°C variierten, nicht vergleichbar. Die relative Luftfeuchtigkeit von 60-70% war jedoch bei ihren Versuchen höher. Der Unterschied

im Abfall der Milchproduktion könnte darum zu einem Großteil mit den unterschiedlichen relativen Luftfeuchtigkeitsgraden zusammenhängen. Dieses würde im Vergleich zu mit hohen Luftfeuchten verbundenen Temperaturen nur einen relativen geringen Effekt der Temperatur auf die Milchleistung der Tiere bedeuten.

Kurzfristige Versuche bezüglich des Verhaltens der Milchleistung in Klimakammern oder bei Feldversuchen sind in ihrer Aussagekraft beschränkt. Solche Versuche beinhalten nur den kurzfristigen Effekt der Wärmebelastung auf die Milchleistung, der auf die geringere Futteraufnahme zurückzuführen ist.

Nicht zu vergessen sei daher auch der bei Klimakammerversuchen dieser Art nicht zu berücksichtigende Effekt der Wärmebelastung auf die Milchleistung, der hauptsächlich der verlängerten Zwischenkalbezeit zuzuschreiben ist (Marschang und Schlauch 1971). Die Zwischenkalbezeit wird zwangsläufig verlängert durch Zyklusstörungen, erhöhten Fruchttd und schwache Entwicklung der Foeten. Vermehrt treten auch Ovulationen bei gleichzeitig schwachen oder fehlenden Brunstsymptomen auf. Zusätzlich zu den oben genannten Faktoren kann eine lange Wärmebelastung auch eine hormonelle Depression von Kühen verursachen, wie Stott und Wiersma 1973 berichteten. Sie stellten fest, daß die Funktion der Nebennieren und Ovarien von laktierenden Kühen während Anpassungsperioden an saisonal hohe Temperaturen depressiv beeinflußt wurden.

Es wäre wünschenswert, einen Hitzetoleranztest zu entwickeln, der von Aspekten der Produktivität eines Tieres unabhängig ist, da man nicht ohne weiteres annehmen kann,

daß eine Selektion auf hohen Produktionswert gleichzeitig eine Selektion auf gute Belastbarkeit gegenüber Umwelteinflüssen darstellt. Das Verhalten der Milchleistung der Einzeltiere unter den hiesigen Versuchsbedingungen gab auf alle Fälle keinen Anhaltspunkt für eine derartige Annahme, denn es ließen sich keine Verbindung zwischen dem Abfall der Milchleistung und dem Verhalten der physiologischen Parameter erkennen.

Die nähere Betrachtung der Versuchsergebnisse läßt keine Parallelität zwischen den Einzelparametern erkennen, so daß man kaum von komplementären Reaktionen sprechen kann. Es kommt eher die Vermutung auf, daß es zu einem von Tier zu Tier graduell unterschiedlichen Einsatz ihrer einzelnen thermoregulatorischen Mechanismen kommt.

Ein unmittelbarer Vergleich der Einzeltierpaare kann auch wegen der starken individuellen Unterschiede zwischen den Einzeltierpaaren nicht unternommen werden, die sich unter anderem auf Alter, Laktationsstadien und Grundstoffwechsel beziehen. Eine solche, sicherlich noch weiter ausführbare Reihe widersprüchlicher Faktoren erscheint dem Autor Grund genug, von der Auswahl eines Einzelparameters als allein gültigen Beweis für das Vorliegen eines Hitzestresses abzusehen.

Die Möglichkeit, einen Einzelparameter wie z.B. die Temperatur als Selektionskriterium für Hitzestreß anzuwenden, erscheint vor allem unter den herrschenden Versuchsbedingungen verfrüht. Für zukünftige Versuchsdurchführungen wäre daher der Vorschlag einer genaueren Untersuchung der

Einzelparameter zu machen, denn nur nach einer gründlichen Durchleuchtung jeder einzelnen Größe kann und darf man versuchen, eine Aussage über ihre physiologische Bedeutung und den Sinn ihres Einsatzes als Selektionskriterium zu machen.

Als Beispiel diene hier nur einmal die Herzfrequenz, deren wahre Reaktionsnormen erst durch ein gleichzeitiges Erfassen des Schlagvolumens beurteilt werden und so erst ein klares Bild über die tatsächliche Herzarbeit gewonnen werden könnte.

Wie bereits erwähnt, sollten weiterführende Versuche auf möglichst zahlreiches und standardisiertes Tiermaterial gleicher Rasse, gleichen Alters, gleichen Laktationsstadiums und etwa gleicher Grundstoffwechselrate aufgebaut werden. Nur ein so ausgewähltes Tiermaterial im Zusammenhang mit der sorgfältigen Untersuchung der Einzelparameter und ihrer Interaktionen sollte die Grundlage künftiger Versuche bilden, denn erst auf diese Weise kann dem Ziel, einen Einzelparameter als Selektionskriterium für Hitze-
streß anzuwenden, ein Stück näher gekommen werden.

6. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war, einen Einblick in die Wirkungen einer warmen Umwelttemperatur bei niedriger konstanter Luftfeuchtigkeit auf verschiedene thermoregulatorische Reaktionen laktierender Rinder zu gewinnen.

Der Literaturteil befaßte sich mit den spezifischen Reaktionen der Körper- und Hauttemperatur sowie der Atem- und Herzfrequenz im Hinblick auf hohe Umwelttemperaturen.

Im experimentellen Teil der Arbeit wurden Ergebnisse aus eigenen Untersuchungen dargestellt und diskutiert. Es wurden fünf sich in der Laktation befindende Tierpaare der Rasse Schwarzbunt und Rotbunt in einer Klimakammer untersucht.

Während einer zehntägigen Vorbereitungsperiode (V) herrschte eine Raumtemperatur von 20°C und 50% Luftfeuchte. Während der anschließenden zwanzigtägigen Wärmebelastungsperiode wurden die Tiere einer Raumtemperatur von 30°C und 40% Luftfeuchte ausgesetzt.

Folgende Parameter wurden untersucht: Vaginal- und Hauttemperatur, Atem- und Herzfrequenz, Liege- und Stehzeiten, Wasseraufnahme, Trinkhäufigkeit, Futteraufnahme und Milchleistung.

Als Hilfsparameter zur Interpretation der Ergebnisse wurden folgende Blutwerte herangezogen: pH-Wert, Hämatokrit und Gesamt-Plasma-Protein.

Folgende Ergebnisse wurden während der Wärmebelastung erzielt:

- 1) Ein statistisch signifikanter Anstieg der Körpertemperatur konnte am zweiten Tag der Wärmebelastung beobachtet werden. Nach einigen Tagen blieb die erreichte Körpertemperatur mehr oder weniger konstant.
- 2) Die Hauttemperatur zeigte einen anfänglichen Anstieg um etwa 2°C und tendierte im weiteren Verlauf abzufallen.
- 3) Die Atemfrequenz zeigte ein ähnliches Verhalten wie die Hauttemperatur mit einem anfänglichen Anstieg und einer nachfolgenden abfallenden Tendenz.
- 4) Die Herzfrequenz tendierte anfangs anzusteigen, was jedoch statistisch nicht abgesichert werden konnte. Ein statistisch abgesicherter Abfall der Herzfrequenz ließ sich erst am vierten Tag der Wärmebelastung feststellen.
- 5) Die Tiere verbrachten weniger Zeit im Liegen.
- 6) Nur an einigen Tagen wurde eine statistisch abzusi-chernde Zunahme der Wasseraufnahme beobachtet.
- 7) Eine deutliche Zunahme der täglichen Trinkhäufigkeit konnte bei allen Tieren festgestellt werden.
- 8) Der durchschnittliche Abfall der Futteraufnahme betrug 15%, der der Milchleistung 18%. Die Milchleistung zeigte ein ähnliches Verhalten wie die Herzfrequenz und zwar zeigte sie erst am fünften

Tag der Wärmebelastung eine signifikante Abnahme.

- 9) Alle Blutwerte verhielten sich mehr oder weniger konstant.

Bei der Varianzanalyse zeigte sich ein signifikanter Einfluß des "Meßtages" auf alle untersuchten Parameter. Der prozentuale Varianzanteil des Meßtages variierte deutlich zwischen den einzelnen Parametern. Signifikante Unterschiede zwischen allen Versuchspaaren konnten festgestellt werden. Signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Tieren der Versuchspaare konnten nur im Falle der Milchleistung und Herzfrequenz bestätigt werden.

Die Stellung der Körpertemperatur als mögliche Repräsentante für Hitzestreß eines Tieres wurde in Zusammenhang mit den Veränderungen der anderen untersuchten Parameter diskutiert.

Die Versuchsergebnisse deuteten darauf hin, daß der Anstieg der Körpertemperatur um $0,9^{\circ}\text{C}$ nicht unbedingt als Zeichen eines starken Hitzestresses der Tiere zu bewerten war.

Eine kritische Betrachtung der Reaktionen aller untersuchten Parameter zeigte, daß unter den herrschenden Versuchsbedingungen keine schwerwiegenden Veränderungen festgestellt werden konnten. Es ist daher anzunehmen, daß die Temperatur alleine nicht als limitierender Faktor bei der Anpassung gleicher Tiere an ähnliche Klimabedingungen angesehen werden darf.

7. Summary

Within the framework of this thesis an attempt was made to gain insight into the effects of a warm environment on various thermoregulatory aspects of lactating european cows.

The specific behaviour of the body temperature, skin temperature, respiratory frequency and heart frequency in response to a warm environment were described on hand from numerous literature findings.

The experimental section gives an evaluation of the conditions and results found during the experimental phase of this thesis.

Five pairs of lactating cows were maintained in a climate chamber over the course of two successive investigation periods. The cows remained for ten days during the preparatory period (V) at a temperature of 20°C and 50% humidity and for 20 days at a temperature of 30°C and 40% humidity during the heat load period (B).

The following parameters were recorded: vaginal and skin temperatures, respiratory and heart frequencies, lying and standing times, water consumption, frequency of water intake, feed consumption and milk production.

Additional information was gained through the recording of various blood values: packed cell volume, pH and total plasma protein.

The effects of the heat load on the above parameters were as follows:

- 1) A statistically significant rise of body temperature occurred on the second day of the heat load and after several days the body temperature remained more or less constant.
- 2) The skin temperature increased approximately 2°C . during the initial phase of the heat load and showed thereafter a declining tendency.
- 3) The respiratory frequency behaved similar to the skin temperature with an initial rise and thereafter decreasing tendency.
- 4) The heart frequency showed an initial tendency to increase although this could not be statistically confirmed. The main response occurred after the fourth day, with the heart frequency showing a statistically confirmed decreasing tendency.
- 5) The animal spent less time lying during the heat load period. The difference could not be statistically confirmed.
- 6) Only on several days was a statistically confirmed increase in water intake verified.
- 7) The frequency of water intake increased by all animals with a definite tendency towards nocturnal drinking behaviour.

- 8) The average decline in feed consumption was 15% and that of the milk production 18%.
The milk production behaved very similar to the heart frequency with a delayed response during the first four days of the heat load and then showing on the fifth day a definite decline.
- 9) All blood values remained more or less constant throughout the heat load period.

The variance analysis verified a significant influence of the heat load (Messtag) on all the examined parameters. The procentual component of this factor varied however distinctively from parameter to parameter. Significant differences between all the groups (Versuchspaare) were confirmed. Only in the cases of the milk production and heart frequency were significant differences between the individuals within the pairs (Paar) prevalent.

The suitability of the body temperature as an indicator of heat stress experienced by an animal was discussed in relationship to the other examined parameters. The experimental findings give a clear indication that the rise of body temperature of $0,9^{\circ}\text{C}$ could not be considered characteristic of a profound heat stress. A critical analysis of the physiological importance of the changes of the various parameters during the heat load period led to the conclusion that under the prevailing

conditions, the relative changes in magnitude of the various examined responses were not overwhelming. It is thus assumed that the temperature alone cannot be considered the limiting factor in the adaptation of such animals to similar climatic conditions.

8. Literaturverzeichnis

- | | | |
|------------------------------|------|---|
| Allen, T.E. | 1962 | Responses of zebu, jersey and jersey crossbred heifers to rising temperature, with particular reference to sweating
Austr.J.agric.Res. 13:165 |
| Allen, T.E.
Donegan, S.M. | 1974 | Bos indicus and Bos taurus crossbred dairy cattle in Australia III.
A climate room test of heat tolerance used in the selection of young sires for progeny testing.
Austr.J.agric.Res.25:1023 |
| Alvarez, M.B.
Hahn, L.R. | 1970 | Cutaneous moisture loss in the bovine during heat exposure and Catecholamine infusion.
J.Anim.Sci. 30:95 |
| Amakiri, S.F.
Mordi, R. | 1975 | The rate of cutaneous evaporation in some tropical and temperate breeds of cattle in Nigeria.
Anim.Prod. 20:63 |
| Amakiri, S.F. | 1974 | Sweat Gland Measurement in Some Tropical and Temperate Breeds of cattle in Nigeria.
Anim.Prod. 18:285 |

- | | | |
|--------------------------------|------|---|
| Beakley, W.R.
Findlay, J.D. | 1955 | The effect of environmental temperature and humidity on the temperature of the skin of the scrotum in Ayrshire calves.
J.Agric.Sci. 45:365 |
| Beakley, W.R.
Findlay, J.D. | 1955 | The effect of environmental temperature and humidity on the skin temperature of Ayrshire calves.
J.Agric.Sci. 45:353 |
| Beakley, W.R.
Findlay, J.D. | 1955 | The effect of environmental temperature and humidity on the frequency of the heart beat of Ayrshire calves.
J.Agric.Sci. 45:461 |
| Benjamin, M. | 1970 | Outline of veterinary clinical pathology.
The Iowa State University Press
Ames, Iowa, U.S.A. |
| Berman, A. | 1957 | Influence of some factors on the relative evaporation rate from the skin of cattle.
Nature London 179:1256 |
| Berman, A.
Kibler, H.H. | 1959 | The effects of clipping on the thermoregulatory reactions of dairy heifers.
Nature London 183:606 |

- | | | |
|-----------------------|------|---|
| Berman,A. | 1967 | Diurnal and seasonal changes in bovine respiratory functions in a subtropical climate.
Austr.J.agric.Res. 18:849 |
| Berman,A. | 1968 | Nychthemeral and seasonal patterns of thermoregulation in cattle.
Austr.J.agric.Res. 19:181 |
| Berman,A.
Morag,M. | 1971 | Nychthemeral patterns of Thermoregulation in High-Yielding Dairy Cows in a Hot Dry Near Natural Climate.
Austr.J.agric.Res. 22:671 |
| Berman,A. | 1971 | Thermoregulation in intensively lactating cows in near-natural conditions.
J.Physiology (London) 215:477 |
| Bernard,B. | 1957 | An introduction to the study of experimental medicine.
Macmillan,New York |
| Bianca,W. | 1958 | The relation between respiratory rate and heart rate in the calf subjected to severe heat stress.
J.Agric.Sci. 51:321 |
| Bianca,W. | 1959 | Acclimatization of calves to a hot dry environment.
J.Agric.Sci. 52:296 |

- | | | |
|----------------------------------|------|--|
| Bianca, W. | 1962 | Relative importance of dry and wet bulb temperatures in causing heat stress in cattle. Nature 195:251 |
| Bianca, W.
Findlay, J. D. | 1962 | The effect of thermally induced Hyperpnoea on the acidbase status of the blood of calves. Res. Vet. Sci. 3:38 |
| Bianca, W. | 1963 | Rectal temperature and respiratory rates as an indicator of heat tolerance in cattle. J. Agric. Sci. 60:113 |
| Bianca, W. | 1965 | Reviews of the progress of dairy science.
Section A. Physiology. Cattle in a hot environment. J. Dairy Res. 32: 291 |
| Bianca, W. | 1966 | Heat tolerance in dehydrated steers. J. Agric. Sci. 66:57 |
| Blaxter, K. L.
Wainman, F. W. | 1961 | Influence of environmental temperature on the energy metabolism and heat emission of steers. J. Agric. Sci. 56:81 |
| Bligh, J. | 1955 | Comparison of rectal and deep body temperature in the calf. Nature 176:402 |

- Bligh, J. 1957 The relationship between the temperature in the rectum and of the blood in the bicarotid trunk of the calf during exposure to heat stress.
J. Physiology (London) 136:393
- Bligh, J. 1957 A comparison of the temperature of the blood in the pulmonary artery and in the bicarotid trunk of the calf during thermal polypnoe.
J. Physiology (London) 136:404
- Bligh, J. 1957 The initiation of thermal polypnoe in the calf.
J. Physiology (London) 136:413
- Bligh, J. 1966 The thermosensitivity of the hypothalamus and thermoregulation in mammals.
Biol. Rev. Cambridge Phil. Soc. 41:317
- Cannon, W.B. 1939 The wisdom of the body.
22nd. ed., Norton, New York
- Chowdhurry, D.R. 1961 Rate of evaporation from different regions of the skin of Indian zebu cattle.
Sandhu, D.P. Nature London 189:491

- | | | |
|---|------|--|
| Comberg, G.
Feder, M. | 1972 | Zum Verhalten der Milchmenge und einiger Milchinhaltsstoffe bei Rindern nach unterschiedlicher Temperaturbelastung während der Tag- und Nachtstunden.
(Klimastallversuche)
Züchtungskunde(44); 172 |
| Colditz, P.S. | 1972 | The effect of diet and heat stress on feed intake, growth, and nitrogen metabolism in Frisian, F ₁ Braman x Frisian and Braman heifers.
Austr.J.Agric.Res. 23:717 |
| Cunningham, M.D. | 1964 | Effect of drinking water temperature on rumen digestion intraruminal temperature and water consumption of nonlactating dairy cows.
J.Dairy Sci. 47:382 |
| Dale, H.F.
Stewart, R.E.
Brody, S. | 1954 | Rumen temperature. I. Temperature gradients during feeding and fasting.
Cornell Veterinarian 44:368 |
| Dowling, D.L. | 1958 | The significance of sweating in heat tolerance of cattle.
Austr.J.agric.Res. 9:579 |
| Eichna, L.W.
Berger, A.R.
Rader, B.
Becker, W.H. | 1951 | Comparison of intracardiac and intravascular temperatures with rectal temperatures in man.
J.clin.invest. 30:353 |

- | | | |
|----------------------------------|------|---|
| Es, A.J.A. van | 1970 | Der Einfluß des Stallklimas auf die Produktion der landwirtschaftlichen Nutztiere, insbesondere der Mastkälber, Milchkühe und Mastschweine. Geflügelhof und Kleinvieh, Bern 33; 28-29 und 31-33 |
| Ferguson, K.A.
Dowling, D.F. | 1958 | The function of sweat glands. Austr.J.agric.Res. 6:640 |
| Findlay, J.D. | 1960 | The sweat glands of Ayrshire cattle. J.Agric.Sci. 40:126 |
| Findlay, J.D. | 1957 | The respiratory activity of calves subjected to thermal stress. J.Physiology (London) 136:300 |
| Findlay, J.D.
Jenkinson, M.E. | 1960 | The morphology of bovine sweat glands and the effect of heat on the sweat glands of the Ayrshire calf. J.Agric.Sci. 55:247 |
| Findlay, J.D.
Ingram, D.L. | 1961 | Brain temperature as a factor in the control of thermal polypnoea in the ox (Bos Taurus). J.Physiology (London) 155:72 |
| Findlay, J.D.
Robertshaw, D. | 1965 | The role of the sympatho-adrenal system in the control of sweating in the ox (Bos Taurus). J.Physiology (London) 179:285 |

- Findlay, J.D. 1966 The role of arterial oxygen
Whittow, G.C. tension in the respiratory
 response to localized heating
 of the hypothalamus and to
 hyperthermia.
 J. Physiology (London) 186:333
- Findlay, J.D. 1969 Hypothalamic temperature and
Hales, J.R.S. the regulation of respiration
 of the ox exposed to severe heat.
 J. Physiology (London) 203:651
- Gaalaas, R.F. 1945 Effect of atmospheric tempera-
 ture in body and respiration
 rate of jersey cattle.
 J. Dairy Sci. 28:555
- Hales, J.R.S. 1968 Respiration in the ox, normal
 values and the effects of ex-
 posure to hot environments.
 Resp. Physiology 4:333
- Hales, J.R.S. 1968 The oxygen cost of thermally
 induced hyperventilation in
 the ox.
 Resp. Physiology 4:353
- Hales, J.R.S. 1969 Changes in respiratory activity
 and body temperature of the
 severely heat stressed ox and
 sheep.
 Comp. bioch. Physiology Vol. 31
 pp 975-985

- | | | |
|---|------|--|
| Hales, J.R.S.
Jessen, C. | 1969 | Increase of cutaneous moisture loss caused by local heating of the spinal cord in the ox.
J. Physiology (London) 204:40P |
| Harvey, W.R. | 1960 | Least square analysis of data with unequal subclass numbers.
Agric. Res. Service, 20-8
United States Dept. of Agric.
Washington, D.C. |
| Herz, A. | 1972 | Physiologische Studien an Milchkühen am subtropischen Standort (Israel).
Dissertation, Berlin |
| Hilliger | 1970 | Die Reaktionen der Milchleistung auf eine hochsommerliche Hitzeperiode.
Tierzüchter 22:497 |
| Horvath, S.M.
Rubin, A.
Foltz, E.L. | 1950 | Thermal gradients in the vascular system.
Amer. J. Physiology 161:316 |
| Hutchinson, S.C.D. | 1962 | Adaptation of domestic animals to the tropics.
Biometeorology 55 (Oxford Pergamon) |
| Ingram, D.L.
Whittow, G.C. | 1961 | Measurement of changes in the body temperature of the ox (Bos Taurus).
Brit. Veterinary J. 117:479 |

- Ingram,D.L. 1961 Increase of evaporative loss
McLean,J.A. of water from the skin of the
Whittow,G.C. ox in response to local heat-
 ing of the hypothalamus.
 Nature Vol. 191:81
- Ingram,D.L. 1962 The effect of heating the hypo-
 thalamus on respiration in the
 ox.
 J.Physiology (London) 163:200
- Ingram,D.L. 1962 The effects of variations in
Whittow,G.C. respiratory activity and in
 the skin temperature of the
 ears on the temperature of the
 blood in the external jugular
 vein of the ox (Bos Taurus).
 J.Physiology (London) 163:211
- Ingram,D.L. 1963 The effects of heating the hypo-
McLean,J.A. thalamus and the skin on the
Whittow,G.C. moisture vaporization from the
 skin of the ox (Bos Taurus).
 J.Physiology (London) 169:394
- Ingram,D.L. 1963 Changes of arterial blood pressure
Whittow,G.C. and heart rate in the ox (Bos
 Taurus) with changes of body
 temperature.
 J.Physiology (London) 168:736
- Ingram,D.L. 1971 The influence of deep body
Legge,K.F. temperature and skin temperature
 on peripheral blood flow in the
 pig.
 J.Physiology (London) 215:693

- | | | |
|-------------------------------|------|---|
| Ingram,D.L.
Mount,L.E. | 1975 | Man and animals in hot environments.
Springer-Verlag |
| Ishii,S. | 1964 | Study on the variation of body temperature, pulse and respiration rate of Holstein cows in a warm environment.
Bull.Kyushu agric.Exp.Sta.9:399 |
| Kamal,T.H.
Johnson,H.D. | 1970 | Whole body ^{40}K loss as a predictor of heat tolerance in cattle.
J.Dairy Sci. 53:1734 |
| Kellaway,R.C.
Colditz,P.J. | 1975 | The effect of heat stress on growth and nitrogen metabolism in Frisian and F1 Frisian Heifers.
Austr.J.agric.Res. 26:615 |
| Kelly,W.R. | 1967 | Veterinary Clinical Diagnosis.
Bailliére, Tindall and Cassel |
| Kibler,H.H.
Brody,S. | 1949 | Influence of temperature 50 to 50°F and 50 to 95°F, of heat production and cardiorespiratory activities of dairy cattle.
Mo.Agric.Exp.Sta.Res.Bull.No.450 |
| Kibler,H.H.
Yeck,R.C. | 1959 | Vaporization rates and heat tolerance in growing Shorthorn, Brahman and Santa Gertrudis calves raised at constant 50 and 80°F temperatures.
Mo.Agric.Exp.Sta.Res.Bull.No.701 |

- | | | |
|---|------|---|
| Kibler, H.H. | 1964 | Thermal effects of various temperature humidity combinations on Holstein cattle as measured by eight physiological responses.
Mo.Agric.Exp.Sta.Res.Bull.No.862 |
| Kolb, E. | 1962 | XVII Der Wärmehaushalt.
Lehrbuch der Physiologie der Haustiere.
VEB Gustav Fischer Verlag Jena |
| Kosaka, M.
Simon, E.
Thauer, R.
Wather | 1969 | The effect of thermal stimulation of spinal cord on respiratory and cortical activity.
Am.J.Physiology 217:858 |
| Kriss, M. | 1921 | Observations on the body temperature of dry cows.
J.agric.Res. 21:1 |
| Langley, L.L. | 1966 | Homeostasis.
London, Chapman u.Hall Ltd. |
| Marschang, F. | 1973 | Auswirkungen der Hitzebelastung auf die Milchleistung der Kühe.
Dtsch.tierärztl.Wschr. 80:187 |
| Marschang, F.
Schlauch, I. | 1973 | Beobachtungen über den Einfluß einer sommerlichen Hitzeperiode auf die Reproduktion von Milchkühen.
Zbl.Vet.Med. 20:654 |

- | | | |
|----------------|------|--|
| Martz, F.A. | 1971 | Relation of ambient temperature and time postfeeding on ruminal, arterial and venous volatile fatty acids, and lactic acid in Holstein steers. |
| Mishra, M. | | J.Dairy Sci. 54:520 |
| Campbell, J.R. | | |
| Daniels, L.B. | | |
| Hildebrand, E. | | |
| McDowell, R.E. | 1953 | Respiratory activity as an index of heat tolerance in Jersey and Sindhi x Jersey (F1) crossbred cows. |
| | | J.Anim.Sci. 12:573 |
| McDowell, R.E. | 1954 | The measurement of water evaporation from limited areas of normal body surface. |
| Lee, D.H.K. | | J.Anim.Sci. 13:405 |
| Fohrman, M.H. | | |
| McDowell, R.E. | 1958 | Physiological approaches to animal climatology. |
| | | J.Hered.49:52 |
| McDowell, R.E. | 1969 | Effect of heat stress on energy and water utilization of lactating cows. |
| Moody, E.G. | | J.Dairy Sci. 52:188 |
| VanSoest, P.J. | | |
| Lehman, R.P. | | |
| Ford, G.L. | | |
| McLean, J.A. | 1963 | The regional distribution of cutaneous moisture vaporization in the ayrshire calf. |
| | | J.Agric.Sci. 61:275 |
| McLean, J.A. | 1963 | The partition of insensible loss of body weight from cattle under various climatic conditions. |
| | | J.Physiology (London) 167:427 |

- | | | |
|---|------|--|
| McLean, J.A. | 1974 | Heat loss from animals and man
Chapter 2
Edited by J.L.Monteith and L.E.Mount |
| Mitchell, D. | 1972 | Resistance to heat in man and
other animals.
S.Afr.J.anim.Sci. 1:151 |
| Moran, J.B. | 1970 | Seasonal and diurnal variations
in body temperature of Hereford
and Brahman cross cattle in a
cool temperate environment.
J.Agric.Sci. 74:205 |
| Pan, Y.S.
Donegan, S.M.
Hayman, R.H. | 1969 | Sweating rate at different body
regions in cattle and its corre-
lation with some quantitative
components of sweat gland volume
for a given area of skin.
Austr.J.agric.Res. 20:395 |
| Robertshaw, D.
Taylor, C.F. | 1969 | A comparison of sweat gland acti-
vity in eight species of East
African Bovids.
J.Physiology (London) 203:135 |
| Robertshaw, D. | 1971 | The evolution of thermoregulatory
sweating in man and animals.
Int.J.Biometeor.Vol. 15, Number 2-4
pp.263-267 |
| Roy, J.H.B.
Huffman, C.F.
Reineke, E.P. | 1957 | The basal metabolism of the new-
born calf.
Br.J.Nutr.11:375 |

- | | | |
|---------------------|------|--|
| Schein, M.W. | 1957 | Heat tolerance of Jersey and |
| McDowell, R.E. | | Sindhi-Jersey crossbreeds in |
| Lee, D.H.K. | | Louisiana and Maryland. |
| Hyde, C.E. | | J.Dairy Sci. 40:1405 |
| Schleger, A.V. | 1965 | Sweating rates of cattle in the |
| Turner, H.G. | | field and their reaction to di- |
| | | urnal and seasonal changes. |
| | | Austr.J.agric.Res. 16:92 |
| Schmidt-Nielsen, K. | 1975 | Animal physiology adaptation |
| | | and environment. |
| | | Cambridge University Press |
| Stephan, E. | 1970 | Die Rolle der Haut bei der |
| Redecker, R. | | Thermoregulation von Haustieren. |
| | | Dtsch.Tierärztl.Wschr. 77:628 |
| Stewart, R.E. | 1972 | Hypothalamic temperature regu- |
| Bailey, Jr. E.M. | | lation in cattle. |
| | | Transaction of the ASAE Paper |
| | | No.72-511, pp.334-339 |
| Stott, G.H. | 1973 | Climatic thermal stress, a cause |
| Wiersma, F. | | of hormonal depression and low |
| | | fertility in bovine. |
| | | Int.J.Biometeor. Vol.17, |
| | | Numer 2, pp 115-122 |
| Taneja, G.C. | 1958 | Sweating in cattle. |
| | | I.Cutaneous evaporative losses |
| | | in cattle and its relationship |
| | | with respiratory evaporative |
| | | loss and skin and rectal temperatures. |
| | | J.Agric.Sci. 50:73 |

- Thompson, H.J. 1951 Influence of environmental temperature, 0 to 105°F, on hair and skin temperature and on the partition of heat dissipation between evaporative and nonevaporative cooling in Jersey and Holstein cattle.
Croskey, R.M.
Brody, S.
Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. No. 481
- Thompson, H.J. 1952 Influence of environmental temperature 0 to 105°F, on hair and skin temperatures of Holstein, Jersey, Brahman Swiss and Brahman cattle, with notes on the thermal properties of hair and skin.
Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. No. 489
- Volcani, R. 1954 Physiological reactions of dairy cows in various seasons and in different regions of Israel.
Schindler, H.
Refuah Vet. 11:174
- Whittow, G.C. 1962 The significance of the extremities of the ox (*Bos Taurus*) in thermoregulation.
J. Agric. Sci. 58:109
- Whittow, G.C. 1968 Cardiovascular response to localized heating of the anterior hypothalamus.
J. Physiology (London) 198/541
- Whittow, G.C. 1971 Comparative physiology of thermoregulation.
Volume II Mammals.
Academic Press, Inc.

- | | | |
|---|------|--|
| Winter, P.
Huhn, J. E.
Weniger, J. H. | 1977 | Observations on the adaptation of Bos Taurus cattle in Bangladesh in comparison to local cattle.
Unpublished Paper |
| Wood, P. D. P. | 1969 | Factors affecting the shape of the lactation curve in cattle.
Anim. Prod. 11:307 |
| Wood, P. D. P. | 1970 | The relationship between the month of calving and milkproduction.
Anim. Prod. 12:253 |
| Worstell, D. M.
Brody, S. | 1953 | Comparative physiological reactions of European and Indian cattle to changing temperatures.
Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. No. 515 |
| Wrenn, T. R.
Bitman, J.
Sykes, J. F. | 1961 | Diurnal patterns of bovine temperature.
J. Dairy Sci. 44:2077 |
| Yeck, R. G.
Stewart, R. C. | 1959 | A ten year summary of the psycho-energetic laboratory dairy cattle research at the University of Missouri.
Trans ASAE 2:71 |

Herrn Professor Dr.J.H.Weniger möchte ich an dieser Stelle für die Überlassung des Themas und seine ständige Förderung und Unterstützung danken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr.D.Steinhauß für die stetige Diskussionsbereitschaft und das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse.

Herrn Dr.E.S.Tawfik danke ich für seine Hilfe bei der statistischen Auswertung der ermittelten Daten.

Den Mitarbeitern des Instituts für Tierproduktion der Technischen Universität Berlin danke ich auch für ihre direkte und indirekte Hilfe, die zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen hat.

Lebenslauf

Name	Eugene Harper Johnson Jr.
30.10.51	geboren in New York, U.S.A., als Sohn des Kunstmalers, Historikers und Autors Dr.E.H. Johnson Sr. und seiner Ehefrau Mildred Anita, geb.Daniel
1957 - 1963	Primary School in Long Island, New York
1963 - 1966	Besuch der Junior High School and High School in Long Island, New York
1966 - 1968	International Boarding School, Nairobi Kenia Cambridge General Certificate of Education (Ordinary Levels)
1969	Besuch des Internats "Institut auf dem Rosen- berg", St.Gallen,Schweiz und des "Minerva In- stituts", Zürich
1970 - 1971	University Tutorial College, London England London General Certificate of Education (Advanced Levels)
1971	Aufnahme des Studiums der Veterinärmedizin an der FU Berlin
1975	Doktorand am Institut für Tierproduktion der Technischen Universität Berlin
1976	Staatsexamen
Seit 1977	Wiss.Mitarbeiter am Institut für Tierproduk- tion der Technischen Universität Berlin

